



Tugas Akhir - MO141326

**ANALISA PENGARUH PENGELASAN GMAW TERHADAP
PERUBAHAN DISTORSI PADA ALUMINIUM DENGAN
VARIASI VARIABEL *HEAT INPUT***

Mochammad Detta Rizky Safrisal
NRP. 4310 100 007

Dosen Pembimbing:
Nur Syahroni, ST., M.T.,Ph.D.
Ir. Handayanu, M.Sc.,Ph.D.

Jurusan Teknik Kelautan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2016



ANALYSIS THE EFFECT OF THE CHANGE GMAW WELDING DISTORTION IN ALUMUNUM WITH VARIABLE VARIATION OF HEAT INPUT

Mochammad Detta Rizky Safrisal
NRP. 4310 100 007

Supervisors:

Nur Syahroni, ST., M.T.,PhD.

Ir. Handayanu, M.Sc.,Ph.D.

Departement of Ocean Engineering
Faculty of Marine Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2016

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah piji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan lancar. Tugas Akhir ini berjudul **“Analisa Pengaruh Pengelasan GMAW Terhadap Perubahan Distorsi Pada Alumunium Dengan Variasi Variabel Heat Input”**.

Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas Akhir ini membahas mengenai pengelasan dengan *GMAW* yang berefek pada perubahan *distorsi* plat aluminium dengan tiga variasi *heat input*, serta mengetahui perubahan paling terkecil dari tiga variasi *heat input*.

Penulis menyadari dalam penulisan laporan ini masih banyak kekurangan, oleh karena itu saran dan kritik sangat penulis harapkan sebagai bahan penyempurnaan laporan selanjutnya. Penulis berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi perkembangan teknologi di bidang produksi lepas pantai, bagi pembaca umumnya dan penulis pada khususnya

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, dalam pengerjaan Tugas Akhir ini kami tidak terlepas dari bantuan serta dorongan moral maupun material dari banyak pihak baik yang secara langsung maupun tidak langsung. Kami sangat bersyukur dan berterima kasih kepada semua pihak yang telah membantu. Perbuatan baik pasti akan menuai kebaikan pula, semoga Allah membalas segala kebaikan setiap hamba-Nya. Sehingga pada kesempatan kali ini kami ingin mengucapkan terima kasih serta penghormatan kepada :

1. Ummi` Muzdalifah dan abah Sartono. Terima kasih atas segala kasih dan sayang yang engkau curahkan. Terima kasih untuk segalanya.
 2. Nur Syahroni, ST, MT, PhD. dan Dr. Ir. Handyanu, M.Sc. serta Ir. Imam Rochani, M. Sc selaku dosen pembimbing Tugas Akhir. Terima kasih telah membimbing dengan sangat sabar dan tulus untk Tugas Akhir ini, serta ilmu yang Bapak berikan.
 5. Nur Syahroni, ST, MT, PhD. selaku dosen wali. Terima kasih atas bimbingan serta nasehat-nasehat yang telah diberikan.
 4. Keluarga besar dosen dan karyawan T. Kelautan. Terima kasih atas bimbingan selama masa perkuliahan.
 5. Keluarga besar Megalodon 2010, rekan-rekan laboratorium opres serta kakak-kakak senior yang telah rela berbagi ilmu, berbagi cerita, pengalaman, dan banyak hal lainnya yang tidak dapat disebut satu per satu.
 6. Rekan-rekan dan Rizky P. Anjani yang banyak mendukung dari belakang dan mendo`akan untuk selesainya Tugas Akhir ini.
 7. Bapak Soegiono selaku welder untuk penelitian Tugas Akhir ini yang sangat pengertian.
 8. Pihak PT. PAL atas segala bantuan, waktu dan tempat yang disediakan untuk penelitian Tugas Akhir ini
- Semoga seluruh bimbingan, arahan, bantuan dan dukungan yang telah diberikan kepada penulis mendapat balasan yang lebih baik dari Allah SWT. Amiin.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

**ANALISA PENGARUH PENGELASAN GMAW TERHADAP PERUBAHAN
DISTORSI PADA ALUMINIUM DENGAN VARIASI VARIABEL *HEAT*
*INPUT***

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh

M. Detta Rizky Safrisal

NRP. 4310 100 007

Disetujui oleh:

1. Nur Syahroni., ST., MT.Ph.D. (Pembimbing 1)
NIP. 197306021999031002
.....
2. Ir. Handayanu., M.Sc.Ph.D. (Pembimbing 2)
NIP. 196307281988031001
.....
3. Ir. Mas Murtedjo., M.Eng (Penguji 1)
NIP. 194912151978031001
.....
4. Ir. Imam Rochani, M. Sc (Penguji 2)
NIP. 4300201405002
.....
5. Ir. Joswan JS., M.Sc (Penguji 3)
NIP. 130238778
.....
6. Yoyok Setyo H. ST., MT.Ph.D (Penguji 4)
NIP. 197111051995121001
.....

ANALISA PENGARUH PENGELASAN *GMAW* TERHADAP PERUBAHAN DISTORSI PADA ALUMINIUM DENGAN VARIASI VARIABEL *HEAT INPUT*

Nama Mahasiswa : Mochammad Detta Rizky Safrisal

NRP : 4310 100 007

Jurusan : Teknik Kelautan, FTK-ITS

**Dosen Pembimbing : Nur Syahroni, ST, MT, PhD.
Dr. Ir. Handayanu, M.Sc.**

ABSTRAK

Proses pengelasan biasa digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi engineering, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan. Salah satu metode pengelasan yang sering dipakai oleh masyarakat umum, yaitu metode *GMAW*. Proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: *butt joint*, *backing joint*, *T joint*, *Cross joint*, *overlap joint*, *corner joint*, dan *edge joint*. Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Adanya masukan panas pada logam ini juga mengakibatkan adanya tegangan sisa yang nantinya akan menimbulkan distorsi. Dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian untuk mengetahui seberapa besar perubahan distorsi pada plat aluminium dengan tiga (3) variasi amperemeter 100 A, 125 A, dan 150 A. Dengan dimensi yang dimiliki pada plat yaitu : 300 mm x 150 mm x 12 mm dan kampuh yang di gunakan adalah single V. Pengelasan dilakukan dengan metode *GMAW*. Perhitungan perubahan distorsi pada plat adalah pada setiap titik yang sudah ditentukan yaitu : sepuluh (10) titik. Serta ada empat (4) layer yang digunakan yaitu : *root pass*, *hot pass 1*, *hot pass 2*, dan *capping*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar *heat Input* yang diberikan, maka distorsi yang terjadi juga semakin besar. perubahan distorsi terbesar adalah pada plat ke tiga (3) dengan amperemeter 150, dan yang terkecil adalah pada plat ke satu (1) dengan amperemeter 100.

Keywords: *GMAW*, *Heat Input*, *root pass*, *hot pass 1*, *hot pass 2*, *capping*

ANALISYS THE EFFECT OF THE CHANGE GMAW WELDING DISTORTION IN ALUMUNUM WITH VARIABLE VARIATION OF HEAT INPUT

Name : Mochammad Detta Rizky Safrisal
Reg. : 4310 100 007
Departement : Ocean Engineering, FTK-ITS
Supervisors : Nur Syahroni, ST, MT, Phd.
Dr. Ir. Handayanu, M.Sc.

ABSTRACT

Welding process is usually used for fabrication in engineering applications, for example for aircraft, automotive and shipbuilding industries. One method of welding is often used by the general public, the method GMAW. Welding process, basically have seven kinds of connections, namely: butt joint, backing joint, T joint, cross joint, overlap joint, corner joint, and the joint edge. The quality of the welding results are affected by the heat energy means is influenced also by the welding current, voltage and welding speed. The presence of heat input on this metal also results in the presence of residual stresses that would cause distortion. In this thesis conducted a study to determine how much distortion changes the aluminum plate with three (3) variations ammeters 100 A, 125 A, and 150 A. With dimensions owned by the plate are: 300 mm x 150 mm x 12 mm and a seam that in use is the single V. Welding conducted using GMAW. Calculation of changes in distortion of the plates is at every point that has been determined as follows: ten (10) points. And there are four (4) layers used are: root pass, hot pass 1, hot pass 2, and capping. So it can be concluded that the greater the heat input is given, then the distortion that occurs is also greater. Change is the biggest distortion in the third plate (3) with the ammeters 150, and the smallest is the first plate (1) with the ammeters 100.

Keywords: *GMAW, Heat Input, root pass, hot pass 1, hot pass 2, capping*

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Lembar Pengesahan	iii
Abstrak	iv
Abstract	v
Kata Pengantar	vi
Ucapan Terima Kasih	vii
Daftar Isi	viii
Daftar Gambar	x
Daftar Tabel	xii
Daftar Lampiran	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan	3
1.4. Manfaat	3
1.5. Batasan Masalah	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.2. Dasar Teori	4
2.2.1. Klasifikasi Alumunium dan Paduan Alumunium	5
2.2.2. Sifat Mapu Las	9
2.2.3. Pengelasan Alumunium dan Paduannya	11
2.2.4. <i>Gas Metal Arch Welding (GMAW)</i>	15
2.2.5. Jenis Elektroda Pengelasan	17
2.2.6. Kampuh V	18
2.2.7. <i>Heat Input</i>	19
2.2.7.1. Arus Pengelasan	19
2.2.7.2. Tegangan Pengelasan	20
2.2.7.3. Kecepatan Pengelasan	20
2.2.8. Distorsi Pada Pengelasan	21
2.2.9. Perbandingan Penelitian Distorsi	22

2.2.9.1. Penyusutan arah Transversal (<i>Transverse Shrinkage</i>)	22
2.2.9.2. Penyusutan arah Longitudinal (<i>Longitudinal Shrinkage</i>)	23
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	25
3.1. Diagram Alir Metodologi Penelitian	25
3.2. Prosedur Penelitian	26
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN	33
4.1. Data Hasil Pengelasan	33
4.2. Data dan Sketsa Perubahan Distorsi	34
4.3. Data Penyusutan Distorsi Arah Transversal	41
4.4. Data Penyusutan Distorsi Arah Longitudinal	41
4.5. Perhitungan <i>Heat Input</i>	42
4.6. Perbandingan Hasil Pengukuran Distorsi	42
BAB V PENUTUP	45
5.1. Kesimpulan Data	45
5.2. Saran	46
Daftar Pustaka	47
Lampiran - Lampiran	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Kima Aluminium Alloy.....	6
Tabel 2.2 Pemilihan Logam Pengisi Sesuai dengan Logam Induk.....	13
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Logam Pengisi.....	13
Tabel 4.1 Data Waktu Pengelasan.....	33
Tabel 4.2 Data Hasil Perubahan Distorsi 100 A.....	34
Tabel 4.3 Data Hasil Perubahan Distorsi 125 A.....	36
Tabel 4.4 Data Hasil Perubahan Distorsi 150 A.....	38
Tabel 4.5 Perhitungan <i>Heat Input</i>	42
Tabel 4.6 Perbandingan Pengukuran Distorsi Untuk 100 A.....	43
Tabel 4.7 Perbandingan Pengukuran Distorsi Untuk 125 A.....	43
Tabel 4.8 Perbandingan Pengukuran Distorsi Untuk 150 A.....	43

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Penembusan Gas Ar dan Gas He.....	14
Gambar 2.2 Pengelasan GMAW atau MIG.....	15
Gambar 2.3 Konstruksi Mesin Las GMAW.....	15
Gambar 2.4 Detail Joint Pada Pengelasan.....	16
Gambar 2.5 Diagram fase Al-Mg.....	17
Gambar 2.6 Macam-macam Distorsi Dalam Pengelasan.....	21
Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Penelitian Tugas Akhir.....	25
Gambar 3.2 Sketsa Pembuatan Bevel Angle Plat Alumunium 5083.....	27
Gambar 3.3 Plat Alumunium 5083.....	27
Gambar 3.4 Proses Pembuatan Bevel.....	27
Gambar 3.5 Perlengkapan Proses Pengelasan.....	28
Gambar 3.6 Proses Penandaan Plat dengan Memberi Titik-titik Pada Plat yang Akan Dihitung Perubahan Distorsi.....	29
Gambar 3.7 <i>Tack Weld</i>	29
Gambar 3.8 Proses Pengelasan.....	30
Gambar 3.9 Sketsa Layer Pengelasan Plat Alumunium 5083.....	30
Gambar 3.10 Hasil Pengelasan dan Perubahan Distorsi.....	31
Gambar 4.1 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 1 (<i>root pas</i>) Untuk 100 A.....	34
Gambar 4.2 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 2 (<i>hot pas 1</i>) Untuk 100 A....	35
Gambar 4.3 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 3 (<i>hot pas 2</i>) Untuk 100 A....	35
Gambar 4.4 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 4 (<i>capping</i>) Untuk 100 A....	35
Gambar 4.5 Design Perubahan Distorsi Total Untuk 100 A.....	36
Gambar 4.6 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 1 (<i>root pas</i>) Untuk 125 A.....	37
Gambar 4.7 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 2 (<i>hot pas 1</i>) Untuk 125 A....	37
Gambar 4.8 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 3 (<i>hot pas 2</i>) Untuk 125 A....	37
Gambar 4.9 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 4 (<i>capping</i>) Untuk 125 A.....	38

Gambar 4.10 Design Perubahan Distorsi Total Untuk 125 A.....	38
Gambar 4.11 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 1 (<i>root pas</i>) Untuk 150 A....	39
Gambar 4.12 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 2 (<i>hot pas 1</i>) Untuk 150 A..	39
Gambar 4.13 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 3 (<i>hot pas 2</i>) Untuk 150 A..	40
Gambar 4.14 Design Perubahan Distorsi Pada Layer 4 (<i>capping</i>) Untuk 150 A....	40
Gambar 4.15 Design Perubahan Distorsi Total Untuk 150 A.....	40
Gambar 4.16 Penyusutan Distorsi Arah Transversal.....	41
Gambar 4.17 Penyusutan Distorsi Arah Longitudinal.....	41

DAFTAR LAMPIRAN

- LAMPIRAN A Perhitungan Perubahan Distorsi**
- LAMPIRAN B Perhitungan *Heat Input***
- LAMPIRAN C Perhitungan Perubahan Transversal dan
Longitudinal**

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG MASALAH

Proses pengelasan biasanya digunakan untuk fabrikasi dalam aplikasi engineering, misalnya untuk pesawat terbang, otomotif, dan industri perkapalan (Gery, dkk. 2005). Salah satu metode pengelasan yang sering dipakai oleh masyarakat umum, yaitu metode GMAW (Gas Metal Arc Welding). Pengelasan ini juga disebut MIG karena menggunakan gas inert dimana elektroda yang digunakan tidak dicoating dan dapat mensuplai terus, karena berbentuk gulungan (Semih, 2007). Proses pengelasan, pada dasarnya memiliki tujuh macam sambungan, yaitu: butt joint, backing joint, T joint, Cross joint, overlap joint, corner joint, dan edge joint. Sambungan-sambungan tersebut memiliki karakteristik sendiri-sendiri tergantung kondisi material yang dikerjakan. Sedangkan untuk posisi pengelasan ada beberapa jenis, yaitu: flat, horizontal, vertical, dan overhead (ASME section IX, 2001).

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelasan yang dikenal dengan Heat input (masukan panas). Adanya masukan panas pada logam ini juga mengakibatkan adanya tegangan sisa yang nantinya akan menimbulkan distorsi.

Dalam proses pengelasan, penyambungan dapat dijamin baik bila terjadi pencampuran secara metalurgis antara masing-masing logam induk dan logam tambahan. Selama pengelasan, daerah di bawah logam las akan mengalami pemuaian, sedangkan daerah di bawahnya mencoba menahannya. Bagian yang memuai itu akan mengalami tegangan tekan sedangkan daerah di bawahnya melawan dengan tegangan tarik. Sebaliknya, selama proses pendinginan, daerah di bawah logam las mengalami tegangan tarik dan daerah di bawahnya melawannya dengan tekanan. Tegangan-tegangan yang terjadi pada pelat yang

dilas ini terus ada hingga temperatur kamar. Tegangan yang demikian ini disebut tegangan sisa atau residual stress (Sonawan, dkk, 2003). Adanya tegangan sisa dalam suatu bahan kemungkinan dapat menguntungkan atau malah merugikan tergantung pada fungsi bahan, besar, dan arah tegangan sisa.

Sifat umum Aluminium adalah sebagai konduktor listrik yang baik. Ringan dan kuat. Merupakan konduktor yang baik juga buat panas. Dapat ditempa menjadi lembaran, ditarik menjadi kawat dan diekstrusi menjadi batangan dengan bermacam-macam penampang. Sangat tahan terhadap korosi.

Pada prinsipnya, jika material yang akan dilakukan pengelasan jenisnya berbeda, maka prosedur dan jenis las yang digunakan juga bisa berbeda. Pengelasan pada baja sudah pasti berbeda dengan proses pengelasan aluminium. Jika dibandingkan dengan baja, aluminium sifatnya lebih lunak akan tetapi mempunyai massa yang lebih ringan. Salah satunya adalah jenis aluminium seri 5083. Pada seri ini, unsur aluminium akan dipadukan dengan unsur Mg (magnesium) Jenis paduan Al-Mg (seri 5xxx) (ASME section IX, 2001). Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlakukan-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu-lasnya.

Kelebihan :

- a. menambahkan kekuatan dan daya lentur
- b. memudahkan proses pemotongan
- c. efektif untuk proses rekristalisasi

Kekurangan :

- a. menurunkan daya rekat
- b. mudah patah
- c. menimbulkan pin hole (lubang jarum)
- d. menimbulkan hard spot

Sedangkan untuk aplikasinya dalam kehidupan sehari-hari adalah untuk bahan pembuatan badan truk dan kereta api, bangunan, kendaraan tempur, bodi kapal dan boat, tangki bahan-bahan kimia, pressure vessels serta tangki cryogenic.

Pada studi eksperimen ini diteliti bagaimana pengaruh pengelasan GMAW terhadap perubahan distorsi pada Aluminium 5083 dengan perbedaan variabel heat input. Pengujian ini dilakukan di PT.PAL INDONESIA.

1.2. PERUMUSAN MASALAH

1. Bagaimana pengaruh pengelasan GMAW pada aluminium seri 5083 dengan variasi *heat input* yang berbeda terhadap perubahan distorsi yang ditimbulkan?
2. Bagaimana variasi *heat input* yang menghasilkan distorsi paling minimum?

1.3. TUJUAN

1. Mengetahui berapa besarnya perubahan distorsi yang ditimbulkan pada proses pengelasan GMAW dengan variasi arus listrik yang berbeda pada aluminium seri 5083.
2. Mengetahui hasil perbandingan penelitian untuk perubahan distorsi longitudinal dan distorsi transversal.

1.4. MANFAAT

Manfaat dilakukan eksperimen ini adalah untuk mengetahui pengaruh pengelasan GMAW dengan arus listrik yang berbeda terhadap distorsi paling minimum serta deformasi yang ditimbulkan pada aluminium seri 5083.

1.5. BATASAN MASALAH

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah :

1. Jenis material yang digunakan adalah aluminium seri 5083 12 mm.
2. Proses pengelasan menggunakan GMAW dengan elektroda ER5356 1.2 mm.
3. Posisi pengelasan adalah 1G dengan jenis sambungan single V butt joint.
4. Parameter heat input yang dirubah adalah arus listrik.
5. Arus yang digunakan adalah 100 A, 125 A, 150 A .
6. Prosedur pengelasan berdasarkan ASME section II dan IX.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. TINJAUAN PUSTAKA

Proses pengelasan adalah proses penyambungan material dengan menggunakan energi panas. Pemanasan lokal pada pelat hingga temperatur lebur dan proses pendinginan yang cepat dapat menghasilkan tegangan sisa akibat adanya distribusi panas yang tidak merata (Anam, 2009). Jika material yang akan dilakukan pengelasan jenisnya berbeda, maka prosedur dan jenis las yang digunakan juga bisa berbeda. Pengelasan pada baja sudah pasti berbeda dengan aluminium yang sifatnya lebih lunak akan tetapi mempunyai massa yang lebih ringan. Salah satunya adalah jenis aluminium seri 5083. Distorsi yang nantinya akan mengganggu pada proses pengerjaan pengelasan selanjutnya. Karena material aluminium yang digunakan sangat besar kemungkinan menyebabkan terjadinya perubahan distorsi, serta pencegahannya memegang peranan yang sangat penting dalam menentukan hasil lasan.

2.2. DASAR TEORI

2.2.1. Klasifikasi Aluminium dan Paduan Aluminium.

Aluminium, logam yang memiliki rumus kimia Al dikenal sebagai logam yang ringan. Massa jenisnya sekitar 1/3 dari baja atau tembaga. Karena keistimewaan sifatnya itu, paduan aluminium banyak digunakan sebagai struktur suatu konstruksi untuk mengurangi beban atau beratnya.

Aluminium dan paduan aluminium termasuk logam ringan yang mempunyai kekuatan tinggi, tahan terhadap korosi dan merupakan konduktor listrik yang cukup baik. Logam ini dipakai secara luas dalam bidang kimia, listrik, bangunan, transportasi dan alat-alat penyimpanan. Kemajuan akhir-akhir ini dalam teknik

pengelasan busur listrik dengan gas mulia menyebabkan pengelasan aluminium dan paduannya menjadi sederhana dan dapat dipercaya. Karena hal ini, maka penggunaan aluminium dan paduan di dalamnya sudah banyak digunakan dalam bidang tersebut serta berkembang.

Paduan aluminium dapat diklasifikasikan dalam tiga cara, yaitu berdasarkan pembuatan, dengan klasifikasi paduan cor dan paduan tempa, berdasarkan perlakuan panas dengan klasifikasi dapat dan tidak dapat diperlaku - panaskan dan cara ketiga yang berdasar unsur-unsur paduan yaitu : Al murni, Al-Cu, Al-Mn, Al-Si, Al-Mg, Al-Mg-Si, dan Al-Zn. Pada Tabel 2.1 ditunjukkan beberapa jenis aluminium dengan komposisi kimia masing-masing.

Tabel 2.1 Komposisi Kimia Paduan Aluminium (ASME section II, 2001)

Alloy	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Each	[Note (5)]	Al
1060	0.25	0.35	0.05	0.03	0.03	....	0.05	0.03 [Note (6)]	0.03	....	99.60 min [Note (7)]
1100	0.95 si + Fe		0.05 - 0.20	0.05	....	....	0.10	....	0.05	0.15	99.00 min [Note (7)]
3003	0.6	0.7	0.05 - 0.20	1.0 - 1.5	....	....	0.10	....	0.05	0.15	Remainder
Aklad 3003	3003 Clad with 7072										
3004	0.30	0.7	0.25	1.0 - 1.5	0.8 - 1.3	....	0.25	....	0.05	0.15	Remainder
Aklad 3004	3004 Clad with 7072										
5052	0.25	0.40	0.10	0.10	2.2 - 2.8	0.15 - 0.35	0.10	....	0.05	0.15	Remainder
5083	0.40	0.10	0.40 - 1.0	4.0 - 4.9	0.05	0.05 - 0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder
5086	0.40	0.50	0.10	0.20 - 0.7	3.5 - 4.5	0.05 - 0.25	0.25	0.15	0.05	0.15	Remainder

Paduan yang dapat diperlaku-panaskan adalah paduan di mana kekuatannya dapat diperbaiki dengan pengerasan dan penemperan, sedangkan paduan yang tidak dapat diperlaku-panaskan kekuatannya hanya dapat diperbaiki dengan pengerjaan dingin. Pengerasan pada paduan aluminium yang dapat diperlaku-panaskan tidak karena adanya transformasi martensit seperti dalam baja karbon tetapi karena adanya pengendapan halus fasa kedua dalam butir Kristal paduan. Karena proses

ini maka pengerasan pada paduan aluminium disebut pengerasan endap atau presipitasi. Sifat-sifat pengerasan presipitasi dan paduan aluminium tergantung pada unsur-unsur paduannya (Okumura, Wiryosumarto, 1994).

Logam paduan yang termasuk dalam kelompok yang tidak dapat diperlakukan adalah jenis Al murni, Al-Mg, Al-Si, dan Al-Mn. Sedangkan kelompok yang dapat diperlakukan masih dibagi lagi dalam jenis perlakuan panasnya yaitu anil-temper (O-temper), pengerasan regang (H-temper), pengerasan alamiah dan pengerasan buatan. Sifat umum dari beberapa jenis paduan aluminium (Katsas dkk, 2005) :

1. Jenis Al-murni (seri 1xxx)

Jenis ini adalah aluminium dengan kemurnian antara 99,0 % dan 99,9 %. Aluminium dalam seri ini di samping sifatnya yang baik dalam tahan karat, konduksi panas dan konduksi listrik juga memiliki sifat yang memuaskan dalam mampu-las dan mampu-potong. Hal yang kurang menguntungkan adalah kekuatannya yang rendah.

2. Jenis paduan Al-Cu (seri 2xxx)

Jenis ini adalah jenis yang dapat diperlakukan. Dengan melalui pengerasan endap atau penyepuhan sifat mekanik paduan ini dapat menyamai sifat dari baja lunak, tetapi daya tahan korosinya rendah bila disbanding dengan jenis paduan yang lainnya. Sifat mampu-lasnya juga kurang baik, karena itu paduan jenis ini biasanya digunakan pada konstruksi keeling dan banyak sekali digunakan dalam konstruksi pesawat terbang.

3. Jenis paduan Al-Mn (seri 3xxx)

Paduan ini adalah jenis yang tidak dapat diperlakukan sehingga menaikkan kekuatannya hanya dapat diusahakan melalui pengerjaan dingin dalam proses pembuatannya. Dibandingkan dengan jenis Al-murni paduan ini mempunyai sifat yang sama dalam hal daya tahan korosi, mampu potong dan sifat mampu lasnya. Dalam hal kekuatan jenis ini lebih unggul dari pada jenis Al-murni.

4. Jenis paduan Al-Si (seri 4xxx)

Paduan Al-Si termasuk jenis yang tidak dapat diperlaku-panaskan. Jenis ini dalam keadaan cair mempunyai sifat mampu alir yang baik dan dalam proses pembekuannya hampir tidak terjadi retak. Karena sifat tersebut maka, paduan jenis ini banyak digunakan sebagai bahan atau logam las dalam pengelasan paduan aluminium baik paduan cor maupun tempa.

5. Jenis paduan Al-Mg (seri 5xxx)

Jenis ini termasuk paduan yang tidak dapat diperlak-panaskan, tetapi mempunyai sifat yang baik dalam daya tahan korosi, terutama korosi oleh air laut, dan dalam sifat mampu-lasnya. Paduan ini banyak digunakan tidak hanya dalam konstruksi umum tetapi juga untuk tangki penyimpanan gas alam cair dan oksigen cair.

6. Jenis paduan Al-Mg-Si (seri 6xxx)

Paduan ini termasuk dalam jenis yang dapat diperlaku-panaskan dan mempunyai sifat mampu-potong, mampu-las dan daya tahan korosi yang cukup. Sifat yang kurang baik dari paduan ini adalah terjadinya pelunakan pada daerah las sebagai akibat dari panas pengelasan yang timbul.

7. Jenis paduan Al-Zn (seri 7xxx)

Paduan ini termasuk jenis yang dapat diperlaku-panaskan. Biasanya ke dalam paduan pokok Al-Zn ditambahkan Mg, Cu, dan Cr. Kekuatan tarik yang dapat dicapai lebih dari 50 kg/mm^2 , sehingga paduan ini dinamakan juga ultra duralium. Berlawanan dengan kekuatan tariknya, sifat mampu-las dan daya tahan terhadap korosi kurang menguntungkan. Dalam waktu akhir-akhir ini paduan Al-Zn-Mg mulai banyak digunakan dalam konstruksi las, karena jenis ini mempunyai sifat mampu las dan tahan korosi yang lebih baik dari paduan dasar Al-Zn. Di samping itu juga pelunakan pada daerah las dapat mengeras kembali karena pengerasan ilmiah.

2.2.2. Sifat Mampu Las

Proses pengelasan pada aluminium mempunyai perbedaan dibandingkan dengan pengelasan pada logam yang lainnya, perbedaan itu dikarenakan (Long dkk, 2009):

a. *Aluminium Oxide surface coating (Al₂O₃)*

Aluminium adalah logam aktif dan bereaksi dengan oksigen di udara dan membentuk lapisan film tipis aluminium oksida (Al₂O₃) pada permukaannya. Titik lebur dari aluminium oksida kurang lebih 3.600 °F (1926 °C) yang nilainya hampir tiga kali lipat dari titik lebur aluminium murni, 1220 °F (660 °C). Seiring dengan penambahan jumlah film aluminium oksida (menjadi lebih tebal), maka akan menyerap uap dari udara. Uap adalah sumber dari hidrogen yang dapat menimbulkan porosity pada kampuh las aluminium. Hidrogen juga bisa muncul dari oli, cat, dan debu pada daerah pengelasan. Selain itu juga bisa muncul dari oksidasi dan material asing pada elektroda bahkan dari logam induk itu sendiri. Hidrogen akan masuk pada kampuh dan larut pada lelehan aluminium. Ketika aluminium ini mengeras maka hidrogen akan dipaksa keluar dari daerah kampuh. Tetapi karena proses pendinginan yang berlangsung cepat, maka hidrogen tersebut akan terperangkap dan menyebabkan porositas. Porositas pada pengelasan dapat menurunkan kekuatan hasil lasan dan keuletannya tergantung jumlah dari porositas tersebut. Lapisan aluminium oksida sebisa mungkin harus dihilangkan pada proses pengelasan. Karena selain menimbulkan porositas, lapisan ini juga dapat menimbulkan cacat pengelasan seperti *lack of fusion* dan *crack*. Cara penghilangannya dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu dengan cara mekanik, kimia, atau elektrik. Penghilangan dengan cara elektrik dapat dilakukan dengan cara mengikis menggunakan benda tajam, *sandpaper*, *wire brush*, dll. Secara kimiawi dapat dihilangkan dengan dua cara yaitu *etching* dan *non etching*. Sedangkan penghilangan secara elektrik dapat menggunakan *cathodic bombardment*.

b. *Thermal conductivity* yang tinggi dan titik lebur yang rendah.

Thermal conductivity adalah kemampuan suatu material untuk menyalurkan panas melalui massanya. Kemampuan aluminium untuk menyalurkan panas tiga sampai lima kali dari kemampuan baja tergantung dari paduannya. Hal ini menunjukkan bahwa aluminium memerlukan input panas yang lebih meskipun titik leburnya 660 °C. Karena memiliki *thermal conductivity* yang tinggi, maka pengelasan pada material yang tebal diperlukan adanya preheat. Namun jika pada proses tersebut suhunya terlalu tinggi atau waktunya yang terlalu lama, dapat mengurangi kekuatan sambungan las baik pada heat treatable alloy maupun non heat treatable alloy. Maka dari itu suhu saat preheat pada aluminium hendaknya tidak melebihi 204 °C. High *thermal conductivity* pada aluminium juga memiliki keuntungan jika panas yang disalurkan menjauh dari kampuh secara cepat, maka lasan juga akan membeku dengan cepat sehingga dapat meminimalisir cacat pada hasil lasan.

c. Koefisien *thermal expansion* yang tinggi.

Thermal expansion adalah penambahan panjang material secara linier terhadap perubahan suhu. *Thermal expansion* pada aluminium dua kali lipat dari pada baja. sehingga mudah sekali terjadi deformasi dan paduan-paduan yang mempunyai sifat getas akan cenderung membentuk retak panas.

d. Tidak ada perubahan warna ketika temperaturnya mencapai titik lebur.

Aluminium baru akan menunjukkan perubahan warna ketika dipanaskan hingga melebihi titik leburnya yaitu 600 °C (berwarna merah pudar). Pada proses pengelasan busur yang menggunakan pelindung gas (GMAW dan GTAW), perubahan warna ini tidak terlalu penting karena las-lasan akan selesai sebelum kampuh las meleleh. Selain sifat-sifat diatas, aluminium juga memiliki sifat yang kurang baik atau merugikan yang lainnya, yaitu (Okumura, Wiryosumarto. 1994) :

1. Karena panas dan daya hantar panasnya yang tinggi maka sukar sekali untuk memanaskan dan mencairkan sebagian kecil saja

2. Karena perbedaan yang tinggi antara kelarutan hidrogen dalam logam cair dan logam padat, maka dalam proses pembekuan yang terlalu cepat akan terbentuk rongga halus bekas kantong-kantong hidrogen.
3. Paduan aluminium mempunyai berat jenis rendah, karena itu banyak zat-zat lain yang terbentuk selama pengelasan akan tenggelam. Keadaan ini memudahkan terkandungnya zat-zat yang tidak dikehendaki ke dalamnya.
4. Karena titik cair dan viskositasnya rendah, maka daerah yang terkena pemanasan mudah mencair dan jatuh menetes.

Faktor-faktor seperti diatas yang membuat prosedur pengelasan aluminium mempunyai yang berbeda jika dibandingkan dengan baja.

2.2.3. Pengelasan Aluminium dan Paduannya

1. Hal-hal Umum

Las gas, las busur yang elektroda terbungkus dan sinar elektron semuanya dapat digunakan untuk mengelas aluminium dan paduannya. Tetapi walaupun demikian yang paling banyak digunakan pada saat ini adalah las busur dengan gas mulia. Dengan cara pengelasan ini lapisan oksida yang terjadi pada permukaan logam aluminium, yang juga menjadi masalah pengelasan, dipecah dan dibersihkan oleh busur listrik yang digunakan. Karena selama pengelasan terlindung oleh gas mulia maka permukaannya bersih dan menyebabkan terbentuknya sifat-sifat yang menguntungkan (Okumura, Wiryosumarto. 1994). Bila digunakan cara pengelasan yang lain, maka diperlukan fluks yang berisi khlorida atau flourida untuk menghilangkan lapisan oksida yang terjadi. Bahayanya menggunakan fluks adalah apabila fluks tertinggal di dalam logam yang akan menyebabkan terjadi korosi. Karena itu pembersihan sisa fluks harus dilakukan dengan seksama.

2. Persiapan Pengelasan

- a. Persiapan logam induk : lapisan oksida dan zat lain yang ada pada permukaan logam induk menjadi salah satu penyebab terjadinya cacat las, seperti

peleburan yang tidak sempurna dan lubang-lubang halus. Karena hal ini maka titik berat persiapan adalah membersihkan permukaan yang akan dilas dari zat-zat tersebut.

Lapisan oksida pada permukaan alur akan tumbuh menjadi tebal dan menyerap uap air, bila permukaan tersebut dibiarkan cukup lama setelah proses pembuatan alur. Pembersihan lapisan tebal ini cukup sulit, karena itu perlu suatu cara yang baik. Suatu proses pembersihan secara mekanik harus dilakukan bersama dengan penggunaan pelarut organik. Dalam hal pembersihan secara kimia, pencucian dan pengeringan yang tidak sempurna akan merusak logam las.

Persiapan logam dasar ini sebaiknya harus dilakukan sesaat sebelum proses pengelasan. Tetapi apabila tidak dapat segera maka permukaan yang sudah disiapkan tersebut harus dijaga supaya tetap bersih dan pada saat mau mengelas sebaiknya disikat dengan sikat baja yang bersih.

- b. Persyaratan tempat mengelas : karena alasan-alasan seperti disebutkan sebelumnya, maka diperlukan tempat pengelasan yang sangat bersih. Bila digunakan las busur dengan gas mulia harus ada pelindungan angin, agar gas pelindung tidak terhembus angin. Agar tidak terjadi pencampuran oleh zat lain, maka tempat pengelasan harus terpisah dari proses pengerjaan yang lainnya terutama terhadap pengerjaan logam lain seperti baja.
- c. Pemilihan logam pengisi : pada dasarnya logam pengisi harus sejenis dengan logam induk. Tetapi pada kenyataannya sebagian dari unsur yang ada di dalam logam pengisi akan teroksidasikan, akan membentuk terak, menguap, sehingga dalam memilih logam pengisi harus memperhatikan terjadinya peristiwa ini. Dalam Tabel 2.2 ditunjukkan kombinasi yang sesuai antara logam induk dengan logam pengisi. Sedangkan pada Tabel 2.3 menunjukkan komposisi kimia dari logam pengisi. Dasar yang utama dalam memilih logam pengisi

adalah sifat yang dimiliki, cara pengelasan yang akan dilakukan dan sifat lasan yang diharapkan.

Tabel 2.2 Pemilihan Logam Pengisi Sesuai dengan Logam Induk (ASME section II, 2001)

Base Metal	5154			5052	5005
	5254	5086	5083	5625	5652
1060,1070,1080,1350	ER5356 ^{c,d}	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER4043 ^{b,d}	ER1100 ^{b,c}
1100,3003,Alc 3003	ER5356 ^{c,d}	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER4013 ^{b,d}	ER1100 ^{b,c}
2014,2036	-	-	-	-	ER4145
2219	ER4043	-	-	ER4043 ^b	ER4043 ^{b,d}
3004,Alc 3004	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5356 ^{c,b}	ER5356 ^{c,d}
5005,505	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5356 ^{c,d}	ER5356 ^{c,d}
5052,5652	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5654 ^d	
5083	ER5356 ^d	ER5356 ^d	ER5183^d		

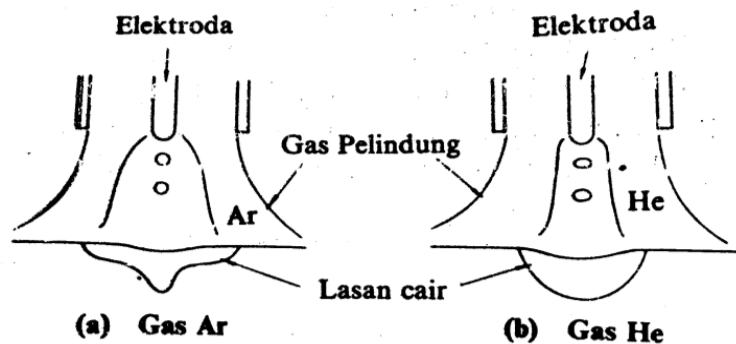
Tabel 2.3 Komposisi Kimia Logam Pengisi (ASME section II, 2001)

Weight Percent ^{a,b}						
AWS Classification	UNS Number ^c	Si	Fe	Cu	Mn	Mg
ER5183	A95183	0,40	0,40	0,10	0,50 – 1,0	4,3- 5,2
R5183	A95183	0,40	0,40	0,10	0,50 – 1,0	4,3- 5,2
Weight Percent ^{a,b}						
ER5356	A95356	0,25	0,40	0,10	0,05 - 0,20	4,5 – 5,2
R5356	A95356	0,25	0,40	0,10	0,05 - 0,20	4,5 – 5,2
Cr	Ni	Zn	Ti	Each	Total	Al
0,05 – 0,25	-	0,25	0,15	0,05	0,15	Remainder
0,05 – 0,25	-	0,25	0,15	0,05	0,15	Remainder
0,05 – 0,20	-	0,10	0,06 – 0,20	0,05	0,15	Remainder
0,05 – 0,20	-	0,10	0,06 – 0,20	0,05	0,15	Remainder

Di dalam pelaksanaannya, di samping komposisi kimia dari logam pengisi harus juga dipertimbangkan kekerasan dan diameternya, yang dihubungkan dengan

tingkat penyelesaian permukaan yang juga tergantung dari mesin las yang digunakan. Di samping itu harus juga diusahakan agar waktu penyimpanan logam pengisi secepat mungkin, sehingga pembentukan lapisan oksida dan penyerapan uap air dapat dihindari.

- d. Pemilihan gas pelindung : dalam pengelasan dengan gas mulia dapat digunakan gas argon dan helium atau argon shield. Gas Ar memberikan perlindungan yang lebih baik dari gas He, tetapi penetbusannya dangkal. Untuk memperdalam penetbusan biasanya digunakan pelindung campuran yang terdiri dari gas argon dan helium. Bentuk dan dalamnya penetbusan oleh kedua gas tersebut ditunjukkan dalam gambar 3.1.

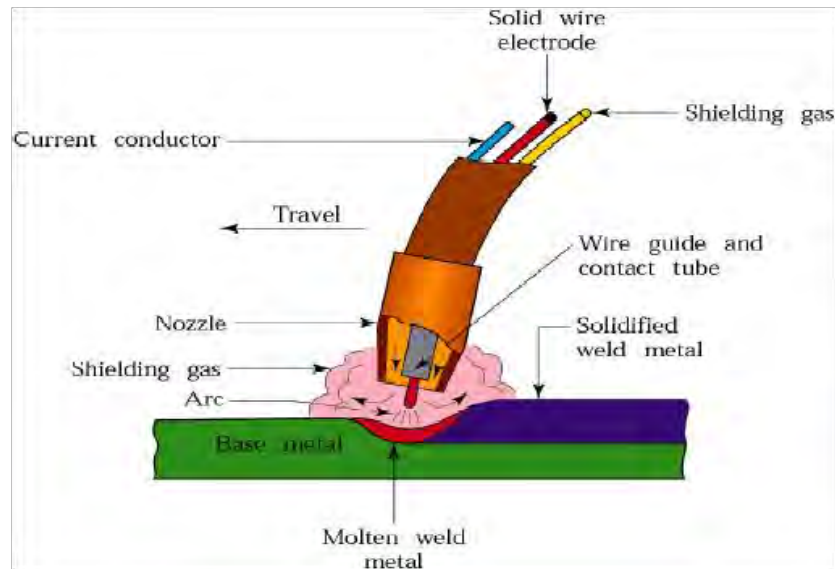


Gambar 2.1 Penetbusan Gas Ar dan Gas He (Wiryosumarto, 2007)

Gas-gas pelindung harus mempunyai kemurnian yang tinggi, karena gas ini akan berhubungan langsung dengan logam cair dan sangat berpengaruh terhadap hasil pengelasan yang didapat.

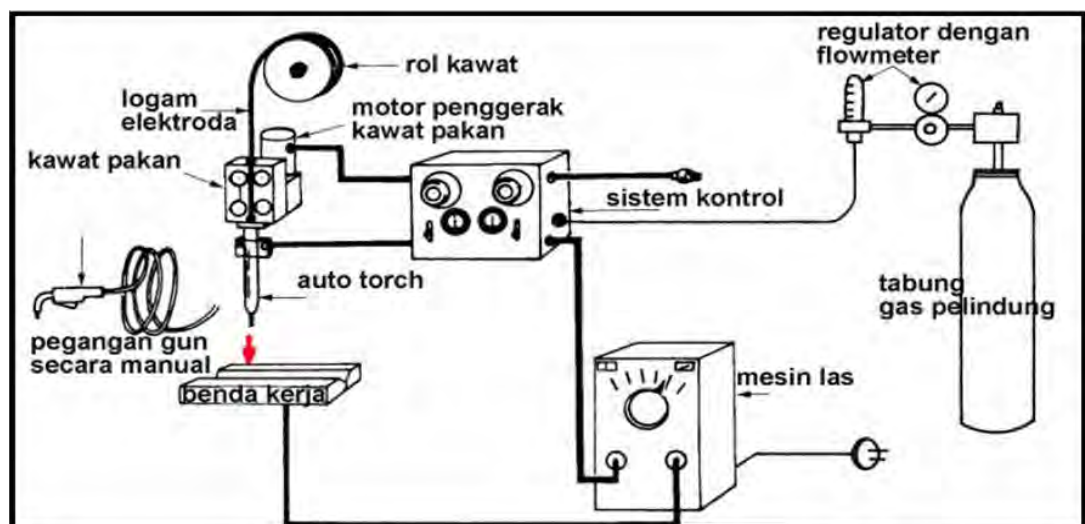
- e. Pembuatan *groove* dan *bevel* pengelasan: pembuatan *groove* dan *bevel* lasan dengan busur pada logam aluminium dan paduannya tidak memberikan kehalusan permukaan yang memuaskan. Karena itu pada pengelasan logam ini kedua pemotongan tersebut biasanya dilakukan dengan mesin pemotong seperti mesin *miling*, mesin pemahat, gerinda dan cara mekanik lainnya.

2.2.4 Gas Metal Arc Welding (GMAW)



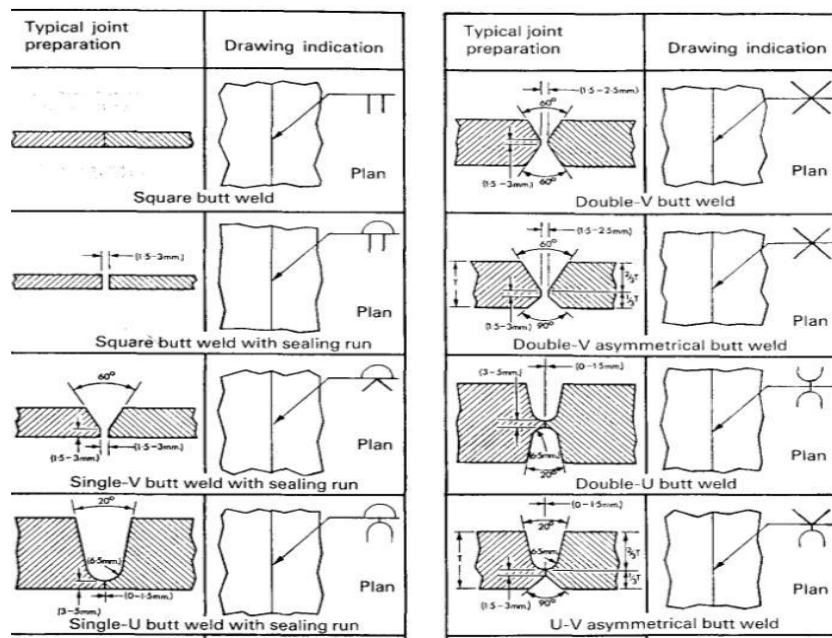
Gambar 2.2 Pengelasan GMAW atau MIG (Genculu, 2007)

Nama lain dari proses pengelasan ini adalah metal inert gas (MIG) dimana kawat elektroda yang digunakan tidak terbungkus dan sifat suplainya yang terus-menerus. Daerah lasan terlindung dari atmosfer melalui gas yang dihasilkan dari alat las tersebut, seperti terlihat pada Gambar 2.2. (Genculu, 2007). Gas pelindung yang digunakan adalah gas Argon, helium atau campuran dari keduanya. Untuk memantapkan busur kadang-kadang ditambahkan gas O₂ antara 2 sampai 5% atau CO₂ antara 5 sampai 20% (Wiriyosumarto, 1996).



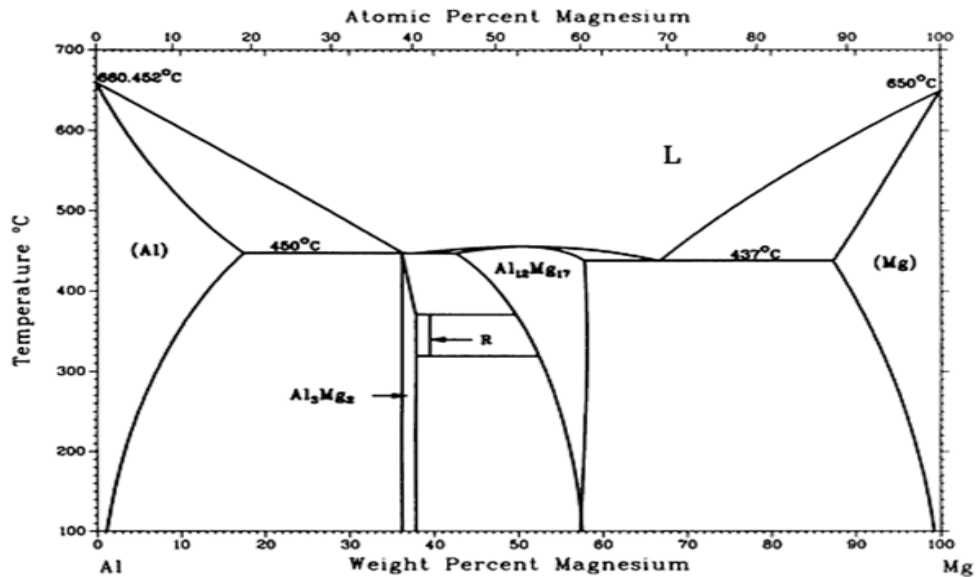
Gambar 2.3 Konstruksi Mesin Las GMAW (Bradley, 2000)

Pada pengelasan aluminium, elektroda yang digunakan pada pengelasan ini harus bersih dari kotoran yang nantinya dapat menimbulkan cacat. Karena bisa saja porositas yang timbul pada pengelasan ini karena adanya uap air yang berada pada elktrodanya. Elektroda dalam las MIG biasanya diumpankan secara otomatis, sedangkan alat pembakarnya digerakkan dengan tangan. Dengan ini tercipta suatu alat las semi otomatis di mana konstruksinya dalam dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.4 Detail Joint pada Pengelasan (www.google.com)

Untuk mempermudah dalam proses pengelasan, perlu adanya kampuh agar *filler* dapat mengisi logam induk yang akan disambung. Kampuh akan diperlukan jika ketebalan material yang akan dilas lebih dari 6 mm (ASME section IX, 2001). Ada beberapa jenis kampuh yang biasanya digunakan dalam pengelasan misalnya *V-butt joint*, *double V-butt joint*, dll seperti yang terlihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.5 Diagram fase Al-Mg (www.google.com)

Sebelum melakukan eksperimen, wajib mengetahui diagram fase aluminium dan magnesium, untuk menentukan titik lebur atau titik leleh campuran plat Al-Mg yang digunakan, seperti terlihat pada Gambar 2.5.

2.2.5. Jenis Elektroda Pengelasan

Elektroda terbungkus pada umumnya digunakan dalam pelaksanaan pengelasan tangan. Di negara-negara industri, elektroda las terbungkus sudah banyak yang di standarkan berdasarkan penggunaannya. Standarisasi elektroda dalam AWS (*American Welding Society*) didasarkan pada jenis fluks, posisi pengelasan dan arus las dan dinyatakan dengan tanda EXXXX, yang artinya sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- XX : Dua angka sesudah E menyatakan kekuatan tarik (ksi)
- X : Angka ketiga menyatakan posisi pengelasan, yaitu:
 - Angka 1 untuk pengelasan segala posisi
 - Angka 2 untuk pengelasan posisi datar dan dibawah tangan
 - Angka 3 untuk pengelasan posisi dibawah tangan

- X : Angka keempat menyatakan jenis selaput dan arus yang cocok dipakai untuk pengelasan.

Sebagai contoh adalah elektroda yang digunakan dalam studi eksperimen ini, yaitu elektroda E6011, dapat dinyatakan sebagai berikut:

- E : Menyatakan elektroda las busur listrik
- 60 : Menyatakan elektroda tersebut memiliki kekuatan tarik sebesar 60 ksi
- 1 : Menyatakan elektroda tersebut dapat digunakan pada pengelasan segala posisi
- 1 : Menyatakan selaput pembungkus elektroda tersebut mengandung rutil-kalium dan pengelasan dengan arus AC atau DC+ atau DC

2.2.6. Kampuh V

Pengerjaan sambungan atau kampuh las terdiri dari 4 jenis yaitu sambungan kampuh sisi, sambungan berimpit, sambungan sudut dan sambungan T. Sambungan atau kampuh menumpu adalah sambungan las yang dilakukan dengan jalan mengelas bagian tepi atau ujung dari logam yang akan dilas. Adapun sambungan atau kampuh menumpu terdiri dari sambungan I, V, X, $\frac{1}{2}$ V, $\frac{1}{2}$ X, dan U. Kampuh V digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya antara 6-16 mm, dimana sambungan ini terdiri dari sambungan kampuh V terbuka dan tertutup. Kampuh V terbuka digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 6-16 mm dengan sudut kampuh 60° C- 80° C dan jarak/celah kampuh sekitar 2 mm serta tinggi dasar sampai sudut kampuh 1-2 mm. Pada waktu mengelas kampuh V terbuka diberi plat penahan cairan sepanjang kampuh yang gunanya untuk mencegah cairan bertumpuk disebelah bawah kampuh dan plat penahan tersebut dapat dibuka bila diperlukan. Sambungan kampuh V tertutup digunakan untuk menyambung logam/plat yang tebalnya 8-16 mm dengan sudut kampuh dan tinggi dari dasar sampai dasar sudut kampuh dibuat sama dengan sambungan kampuh V terbuka.

2.2.7 Heat Input

Dalam pengelasan, untuk mencairkan logam induk dan logam pengisi diperlukan energi yang cukup. Energi yang dihasilkan dalam operasi pengelasan berasal dari bermacam-macam sumber yang tergantung pada proses pengelasannya. Pada pengelasan busur listrik, sumber energi berasal dari listrik yang diubah menjadi energi panas. Energi panas ini sebenarnya hasil kolaborasi dari parameter arus las, tegangan las, dan kecepatan pengelasan. Parameter ketiga yaitu kecepatan pengelasan ikut mempengaruhi energi pengelasan karena proses pemanasannya tidak diam ditempat akan tetapi bergerak dengan kecepatan tertentu.

Kualitas hasil pengelasan dipengaruhi oleh energi panas yang berarti dipengaruhi juga oleh arus las, tegangan dan kecepatan pengelasan. Hubungan antara ketiga parameter itu menghasilkan energi pengelesan yang dikenal dengan *heat input*. Persamaan *heat input* dapat dituliskan sebagai berikut :

$$Q = \eta \frac{V \cdot I}{v} \quad (\text{Joule/mm}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Q = Heat Input (kJ/mm)
 η = Thermal Efficiency (%)
 V = Voltage (V)
 I = Current (A)
 v = Welding Speed (mm/sec)

2.2.7.1. Arus Pengelasan

Berpengaruh langsung pada penetrasi logam las, bentuk manis las, lebar HAZ dan dilusi. Arus las makin besar dapat memperdalam penetrasi logam las dan juga memperlebar HAZ, demikian sebaliknya. Pemakaian arus las semakin tinggi juga dapat memperlebar manik las.

Arus las juga mempengaruhi dilusi atau pencampuran. Semakin besar arus las maka semakin besar juga dilusi yang artinya semakin banyak bagian logam induk yang mencair.

Besarnya arus pengelasan ditentukan oleh diameter elektroda. Semakin besar diameter elektroda yang dipakai maka semakin tinggi arus las yang diperlukan. Secara logika, untuk mencairkan kawat las berdiameter lebih besar akan membutuhkan panas lebih tinggi. Energi panas sebanding dengan arus las. Oleh karena itu fakta bahwa pemakaian kawat las berdiameter besar membutuhkan arus las yang besar juga.

2.2.7.2. Tegangan Pengelasan

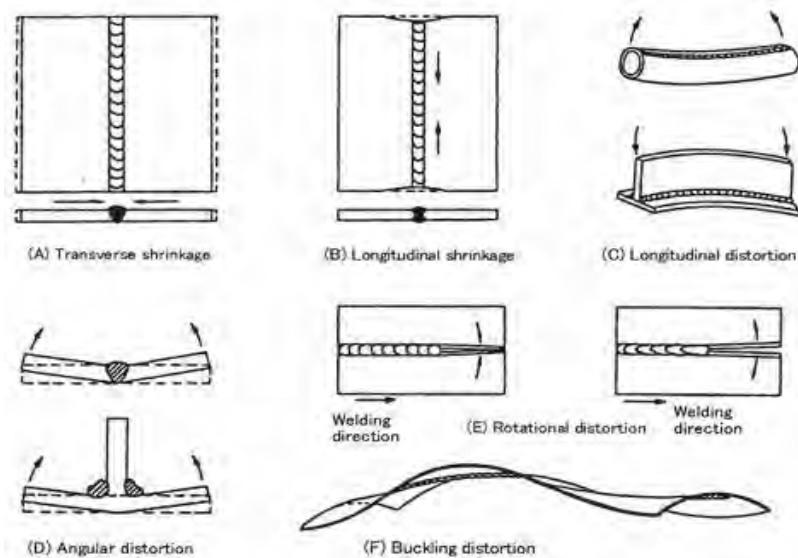
Berbanding lurus dengan tinggi busur. Yang dimaksud dengan tinggi busur disini adalah jarak antara ujung elektroda dengan permukaan logam induk yang dilas. Jika saja pada saat pengelasan terjadi kenaikan tinggi busur maka pada saat itu juga tegangan las merangkak naik dan arus las turun. Kenaikan tegangan akan terus berlanjut jika tinggi busur makin besar dan pada akhirnya mungkin saja busur listrik tidak ada lagi. Walaupun ada korelasi antara arus dan tegangan, tetapi tegangan las ini tidak berpengaruh secara langsung pada penetrasi logam las.

2.2.7.3. Kecepatan Pengelasan

Semakin tinggi kecepatan pengelasan biasanya dipengaruhi oleh tingginya arus pengelasan. Untuk mencairkan ujung elektroda diperlukan energi yang cukup. Dengan kebutuhan energi yang cukup ini, pengelasan dapat berlangsung dengan normal. Apabila energi yang diberikan lebih dari cukup misalnya saja dengan memberikan arus las lebih tinggi, maka proses pencairan ujung elektroda berlangsung lebih cepat. Kecepatan pencairan elektroda yang tidak diimbangi dengan kecepatan pengelasan mungkin saja menyebabkan penumpukan cairan logam las di permukaan logam induk. Untuk menghasilkan manik las yang normal, maka tentu saja kecepatan pencairan ujung elektroda harus diimbangi dengan kecepatan pengelasan. Dengan demikian benar saja bahwa tingginya arus pengelasan sangat mempengaruhi kecepatan pengelasan

2.2.8. Distorsi Pada Pengelasan

Pada proses pengelasan, sambungan pada material menerima beban panas yang tinggi. Distribusi panas yang ditimbulkan tidak merata ke semua bagian. Sehingga suhu pada daerah lasan dan HAZ lebih tinggi dari pada logam induk yang tidak terkena pengaruh panas. Selama proses pendinginan, daerah lasan akan menjadi padat dan menyusut sehingga terjadi tegangan tarik disekitar lasan dan HAZ.



Gambar 2.6 Macam-macam distorsi dalam pengelasan (Wirjosumarto, 2007)

Jika tegangan tarik yang dihasilkan melebihi *yield point* dari logam induk, maka hal ini bisa menimbulkan deformasi plastis pada material. Deformasi plastis ini nantinya akan menyebabkan perubahan dimensi dan penyimpangan material. Hal inilah yang disebut dengan distorsi. Ada beberapa macam distorsi yang terjadi pada pengelasan. Seperti terlihat pada gambar 2.6

1. Penyusutan arah Transversal (*Transverse shrinkage*) : penyusutan yang terjadi tegak lurus terhadap arah garis las
2. Penyusutan arah Longitudinal (*Longitudinal shrinkage*) : penyusutan yang terjadi searah garis las

3. Distorsi arah Longitudinal (*Longitudinal distortion*) : distorsi dalam bidang yang melukai garis las dan tegak lurus terhadap plat
4. Distorsi arah Angular (*Angular distortion*) : distribusi panas yang tidak merata pada ke dalaman menyebabkan distorsi atau perubahan sudut
5. Distorsi Rotasi (*Rotational distortion*) : distorsi sudut dalam bidang plat yang berkaitan dengan perluasan thermal
6. Distorsi Menekuk (*Buckling distortion*) : kompresi yang berkenaan dengan panas menyebabkan ketidakstabilan ketika plat tipis.

2.2.9. Perbandingan Penelitian Distorsi

2.2.9.1. Penyusutan arah Transversal (*Transverse Shrinkage*)

Rumus Capel, plat aluminium yang dilas menggunakan proses masukan gas busur dan baja karbon plat stainless yang mengkonversi elektroda.

$$\Delta l \text{ (aluminium)} = \frac{20,4 \times W \times 10^3}{s \times u} \dots\dots (2.2) \text{ (Capel, 1961)}$$

Dimana,

Δl = penyusutan melintang (mm)

s = ketebalan logam las setiap lapisan (mm)

u = kecepatan pengelasan (cm/min)

$W = I \times V$ = kekuatan listrik pada pengelasan busur

I = welding current (ampere)

V = busur tegangan (volt)

Jauh masukan panas tinggi yang digunakan untuk pengelasan aluminium. Akibatnya, nilai yang sebenarnya dari penyusutan jauh lebih besar untuk las aluminium dari pada yang dari stainless steel dan baja karbon.

2.2.9.2. Penyusutan arah Longitudinal (*Longitudinal Shrinkage*)

Penyusutan longitudinal pada lasan butt adalah sekitar 1/1000 th panjang las, jauh lebih sedikit daripada penyusutan melintang. Hanya penelitian terbatas yang telah dilakukan penyusutan longitudinal pada lasan butt. King mengusulkan rumus berikut :

$$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots\dots\dots (2.3) \text{ (King, 1944)}$$

Dimana,

I = welding current (ampere)

L = panjang lasan (in)

t = ketebalan plat (in)

contoh, dimana $t = \frac{1}{4}$ in (6,4 mm) dan $I = 250$ ampere

$$\Delta L/L = 1,2 \times 10^{-3}$$

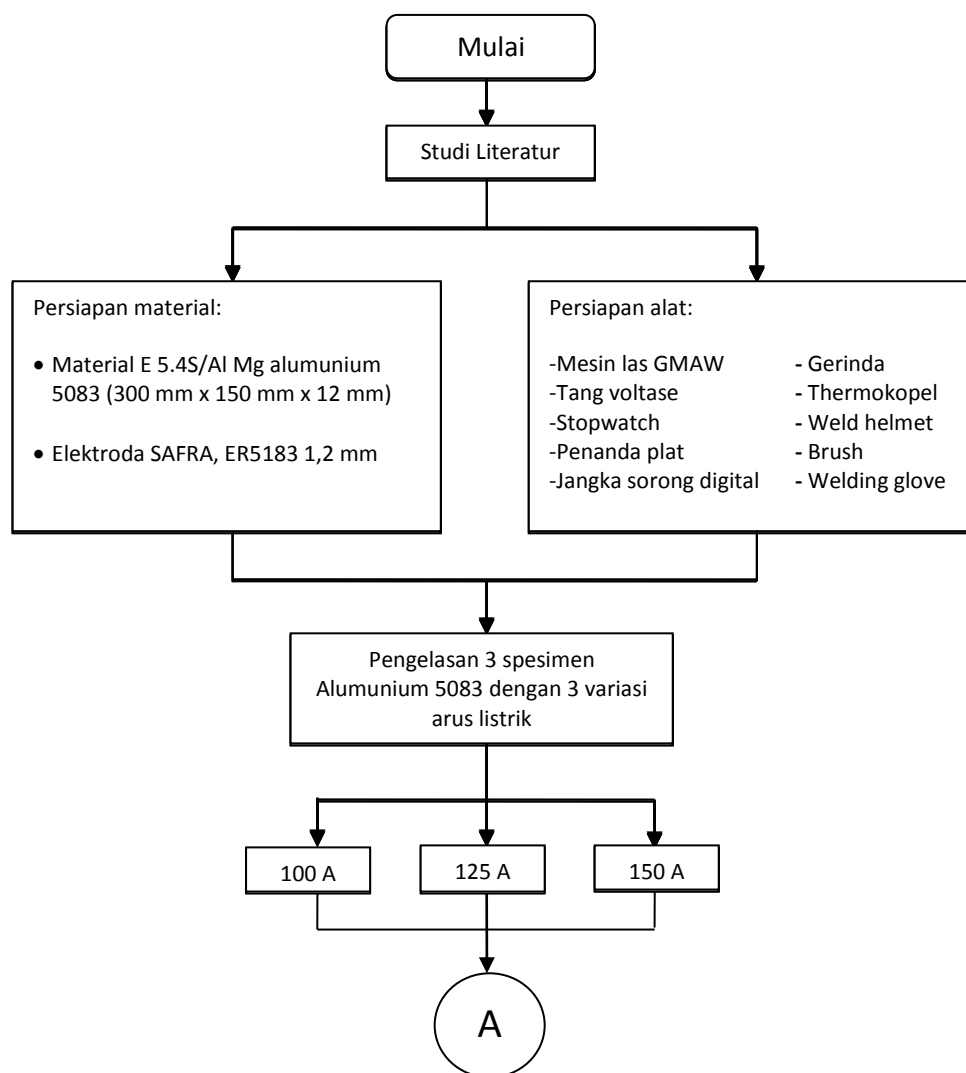
(halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB III

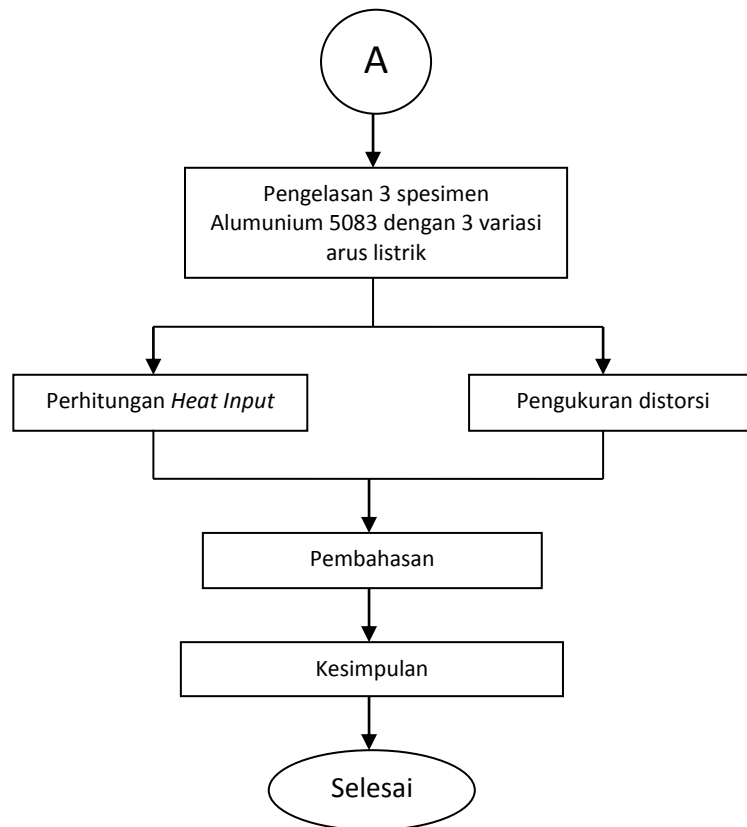
METODOLOGI

3.1 METODE PENELITIAN

Untuk mempermudah evaluasi perkembangan penelitian untuk tugas akhir akan dibuat diagram pengerjaan/metodologi. Secara garis besar pengerjaan tugas akhir ini dapat dijelaskan dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir



Gambar 3.1 Diagram alir pengerjaan penelitian tugas akhir (Lanjutan)

3.2. PROSEDUR PENELITIAN

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Gambar 3.1 dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Studi Literatur

Mencari teori-teori dan data-data yang akan digunakan dalam penelitian dan analisa. Data-data dan teori yang digunakan diperoleh dari :

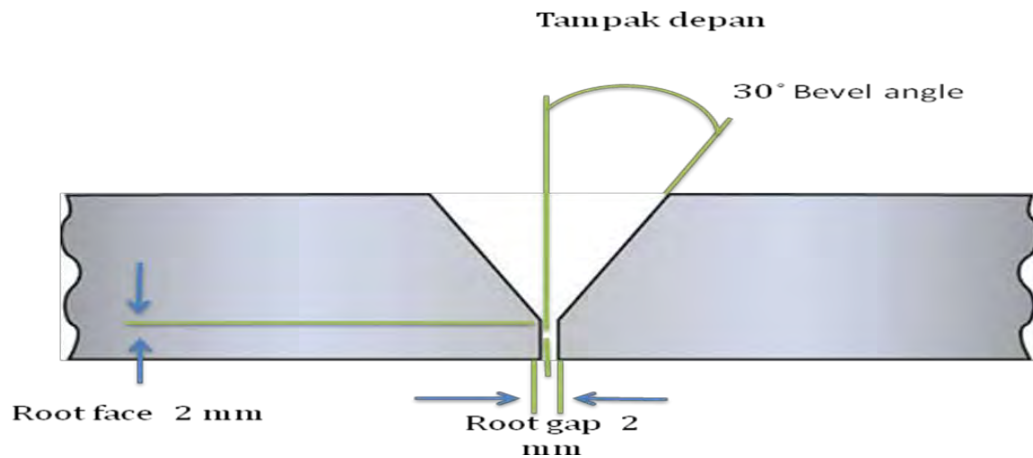
- Buku-buku tentang pengelasan dan efek distorsi yang ditimbulkan
- Jurnal, *website*, artikel tentang korosi, dan pengelasan pada plat
- *Code* atau standar yang berhubungan dengan penelitian ini

2. Persiapan Material dan Alat

a. Persiapan material

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah material jenis plat alumunium 5083 sebanyak 6 buah. Dengan spec 300 mm x 150 mm x 12 mm. Kemudian material ini di las dengan jenis pengelasan GMAW

menggunakan elektroda SAFRA ER5183. Sebelum dilakukan pengelasan, dilakukan pembuatan bevel terlebih dahulu, yaitu:



Gambar 3.2 Sketsa Pembuatan Bevel Angle Plat Alumunium 5083

- Menentukan ukuran bevel (Gambar 3.2) dengan cara mengukur lebar plat 150 mm = 15 cm dikurangi ukuran bevel 3 cm dengan kemiringan 60°.



Gambar 3.3 Plat Alumunium 5083



Gambar 3.4 Proses Pembuatan Bevel

(sumber: dok.pribadi)

- Setelah itu di gerinda semua plat (6 buah) dengan ukuran bevel yang sama (Gambar 3.3 dan 3.4)



Gambar 3.5 Perlengkapan Proses Pengelasan (sumber: dok.pribadi)

b. Persiapan alat

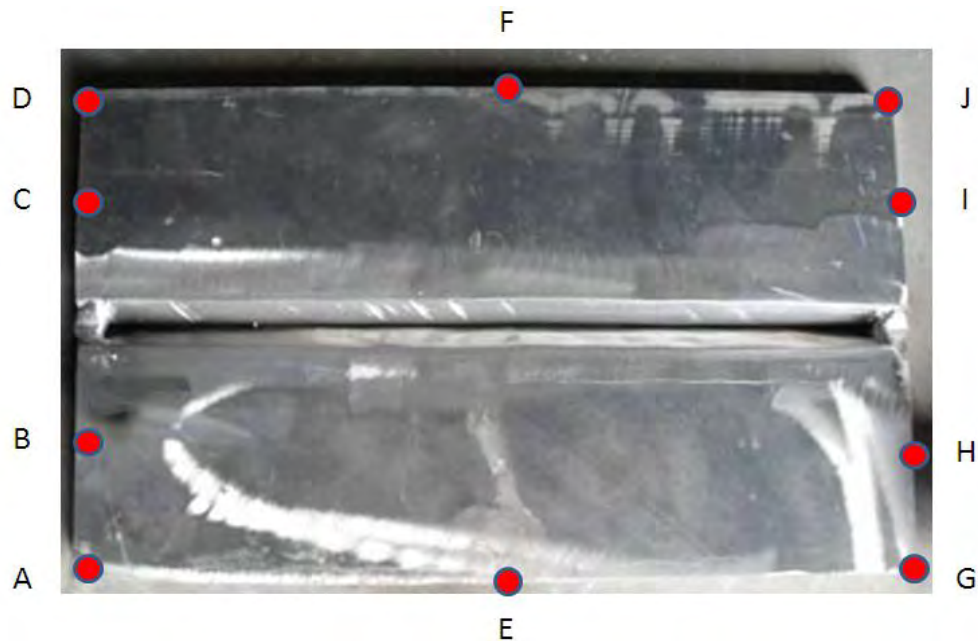
Peralatan yang digunakan (Gambar 3.5) dalam pengelasan GMAW dan penelitian adalah:

- Welding gun
- Tabung gas argon
- Regulator tabung gas argon
- Elektrode supply
- Power source
- Tang voltase
- Stopwatch
- Penanda plat
- Jangka sorong digital
- Gerinda
- Thermokopel
- Welding helmet
- Brush
- Welding glove
- Tang
- Masker
- Meteran

3. Penyambungan plat dan pengukuran distorsi

- Untuk heat input ada 3 variasi variabel, yaitu 100 A, 125 A, dan 150 A, jadi penelitian dilakukan sebanyak 3 kali sesuai variasi variabel heat input

- Menghitung data awal plat sebelum dilakukan pengelasan, dan memastikan meja kerja rata dengan plat



Gambar 3.6 Proses Penandaan Plat dengan Memberi Titik-titik Pada Plat yang Akan Dihitung Perubahan Distorsi (sumber: dok.pribadi)

- Sebelum dilakukan pengelasan, plat diberi tanda pada bagian tertentu yang akan dihitung perubahan distorsi angular, distorsi transversal dan distorsi longitudinal



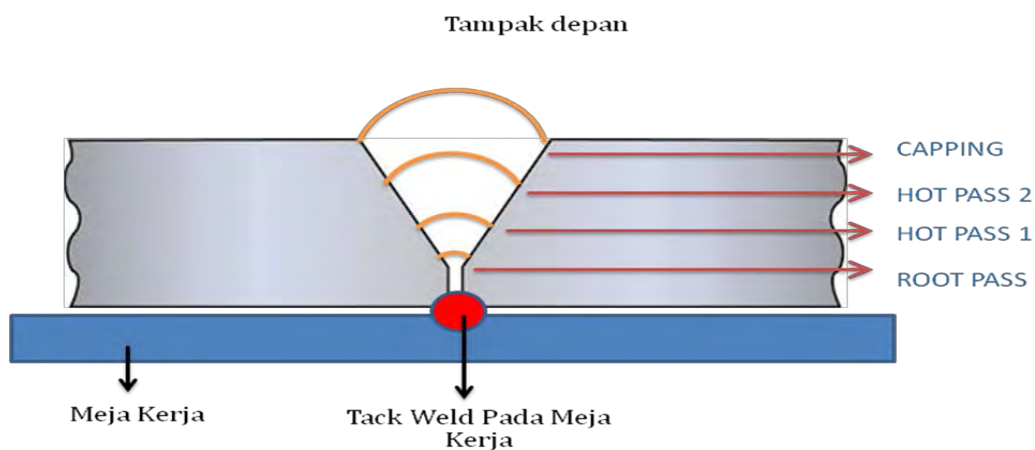
Gambar 3.7 Tack Weld (sumber: dok.pribadi)

- Setelah diberi tanda pada plat, lalu dilanjutkan dengan membuat *tack weld* pada ujung-ujung plat (Gambar 3.7), sebagai penyambung agar tidak bergeser pada saat dilakukan pengelasan dengan cara *full length*, serta dilakukan *tack weld* juga pada ujung-ujung plat ke meja kerja,

agar plat pada bagian tengah fix atau menempel pada meja kerja, untuk melihat perubahan distorsi angular.



Gambar 3.8 Proses Pengelasan (sumber: dok.pribadi)



Gambar 3.9 Sketsa Layer Pengelasan Plat Alumunium 5083

- Perhitungan kecepatan pengelasan pada tiap layer dilakukan pada saat proses pengelasan (Gambar 3.8) dimulai, serta menghitung perubahan distorsi angular, menggunakan 4 layer (Gambar 3.9) pada penelitian ini, yaitu:
 - ✓ Pengelasan layer ke 1 (root pass)
Pada saat dilakukan pengelasan sampai selesai dihitung kecepatan pengelasan, lalu menghitung perubahan efek distorsi tiap tanda titik plat yang sudah ada sebelum dilakukan pengelasan
 - ✓ Pengelasan layer ke 2 (hot pass 1)

Pada saat dilakukan pengelasan dan selesai dihitung kecepatan pengelasan, lalu menghitung perubahan efek distorsi tiap tanda titik plat yang sudah ada sebelum dilakukan pengelasan

✓ Pengelasan layer ke 3 (hot pass 2)

Pada saat dilakukan pengelasan sampai selesai dihitung kecepatan pengelasan, lalu menghitung perubahan efek distorsi tiap tanda titik plat yang sudah ada sebelum dilakukan pengelasan

✓ Pengelasan layer ke 4 (capping)

Pada pengelasan ini, berbeda dengan pengelasan sebelumnya, yaitu dilakukan proses grinding terlebih dahulu pada layer ke 3 (hot pass 2), lalu melakukan perhitungan kecepatan pengelasan sampai selesai, dan menghitung perubahan efek distorsi tiap tanda titik plat yang sudah ada sebelum dilakukan pengelasan



Gambar 3.10 Hasil Pengelasan dan Perubahan Distorsi (sumber: dok.pribadi)

4. Perhitungan *Heat Input*

Heat Input dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$Q = \eta \frac{V \cdot I}{v} \quad (\text{Joule/mm}) \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Q = *Heat Input* (kJ/mm)

η = Thermal Efficiency (%)

V = Voltage (V)

I = Current (A)

v = Welding Speed (mm/sec)

5. Perhitungan Penyusutan arah Transversal (*Transverse Shrinkage*)

Penyusutan transversal dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta l \text{ (aluminium)} = \frac{20,4 \times W \times 10^3}{S \times u} \quad \dots\dots\dots (3.2) \text{ (Capel, 1961)}$$

Dimana,

Δl = penyusutan melintang (mm)

s = ketebalan logam las setiap lapisan (mm)

u = kecepatan pengelasan (cm/min)

$W = I \times V$ = kekuatan listrik pada pengelasan busur

I = welding current (ampere)

V = busur tegangan (volt)

6. Perhitungan Penyusutan arah Longitudinal (*Longitudinal Shrinkage*)
Penyusutan Longitudinal dapat di hitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots\dots\dots (3.3) \text{ (King, 1944)}$$

Dimana,

I = welding current (ampere)

L = panjang lasan (in)

t = ketebalan plat (in)

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. DATA HASIL PENGELASAN

Percobaan yang dilakukan pada material dengan panjang 300 mm dengan parameter pengelasan sebagai berikut:

Material : E 5.4S/AL MG Aluminium 5083

Dimensi : 300 mm x 150 mm x 12 mm

Welder : Sugiono / 115851024 (Welder PT. Purnama Pasuruan)

Kampuh : Single V / back grinding

Elektrode : SAFRA, ER5183 1.2 mm

Pencatatan pada saat proses pengelasan didapatkan data-data seperti pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Data Waktu Pengelasan

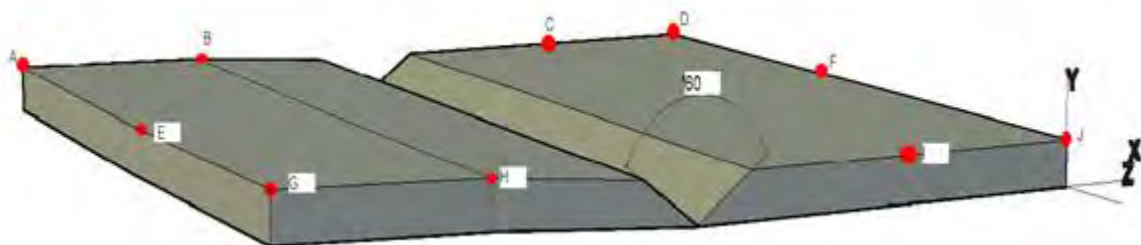
No.	Dimension (mm)	Ampere A	Volt V	layer	Welding Time (sec)
1	300 x 150 x 12	100	21	1	59,26
				2	57,32
				3	69,45
				4	71,59
2.	300 x 150 x 12	125	21	1	62,56
				2	56,87
				3	66,78
				4	72,1
3.	300 x 150 x 12	150	21	1	63,21
				2	57,65
				3	67,89
				4	70,24

4.2. DATA DAN SKETSA PERUBAHAN DISTORSI

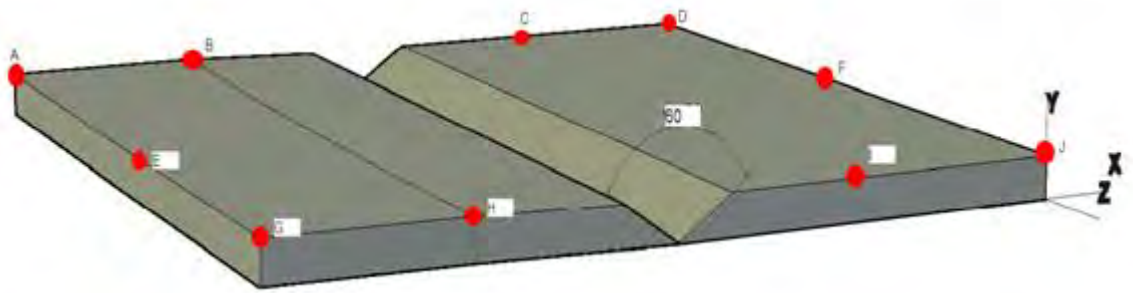
- ❖ Data perubahan distorsi arah *angular* untuk *Heat Input* 100 A pada Tabel 4.2 dan Gambar 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 serta 4.5

Tabel 4.2 Data Hasil Perubahan Distorsi 100 A

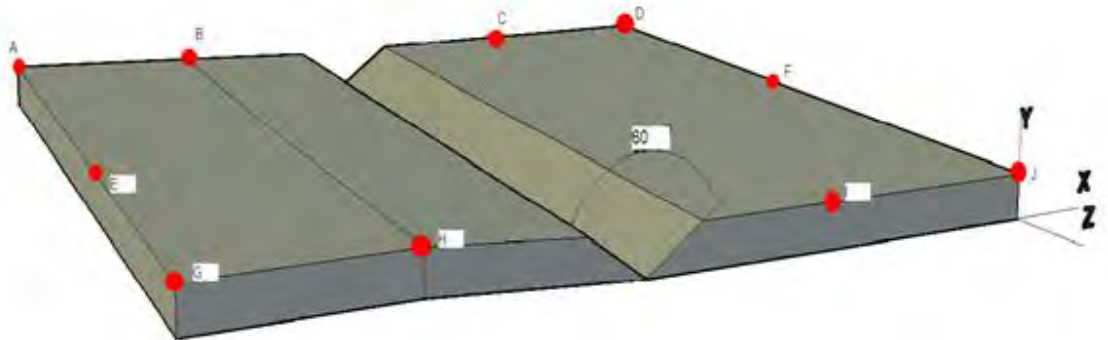
Titik	Data Awal (mm)	Perubahan Distorsi (mm)			
		Root pass	Hot pass 1	Hot pass 2	Capping
A	12	0,38	0,14	0,40	1,01
B	12	0,27	0,14	0,16	0,11
C	13,3	0,00	0,00	0,00	0,00
D	15	0,00	0,00	0,00	0,00
E	14	0,38	0,12	0,40	1,01
F	12	0,00	0,00	0,00	0,00
G	12	0,57	0,19	0,35	0,59
H	12	0,38	0,13	0,35	1,04
I	12	0,00	0,00	0,00	0,00
J	12	0,00	0,00	0,00	0,00



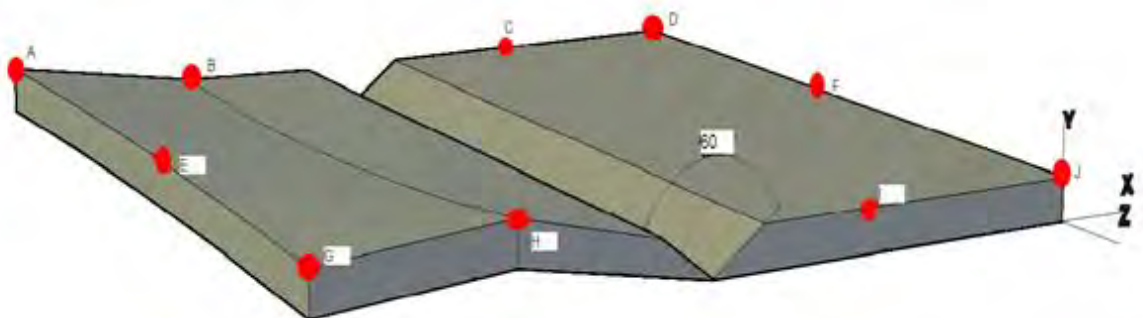
Gambar 4.1 design perubahan distorsi pada layer 1 (*root pas*) untuk 100 A



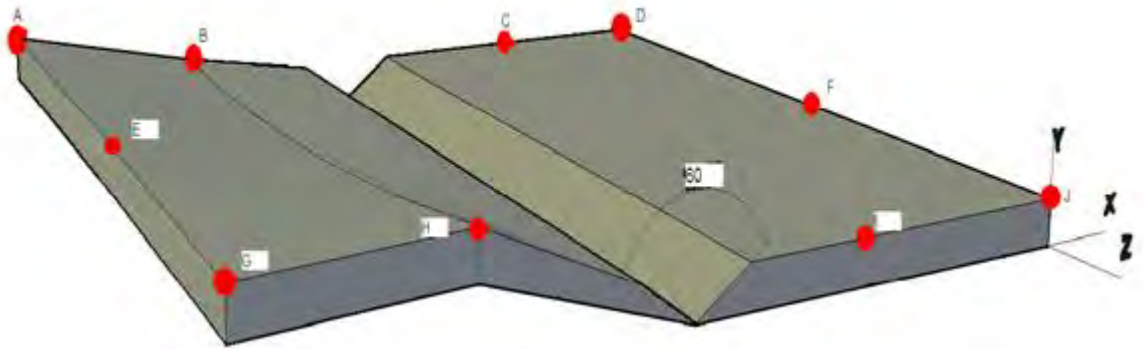
Gambar 4.2 design perubahan distorsi pada layer 2 (*hot pas 1*) untuk 100 A



Gambar 4.3 design perubahan distorsi pada layer 3 (*hot pas 2*) untuk 100 A



Gambar 4.4 design perubahan distorsi pada layer 4 (*capping*) untuk 100 A

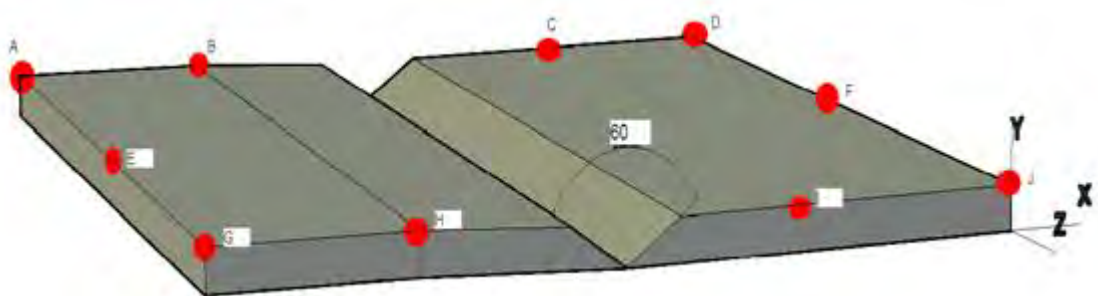


Gambar 4.5 design perubahan distorsi total untuk 100 A

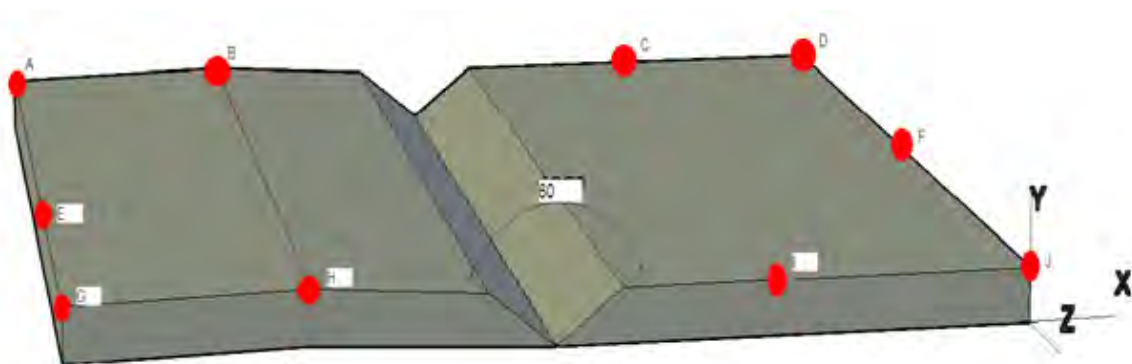
- ❖ Data perubahan distorsi arah *angular* untuk *Heat Input* 125 A pada Tabel 4.3 dan Gambar 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 serta 4.10

Tabel 4.3 Data Hasil Perubahan Distorsi 125 A

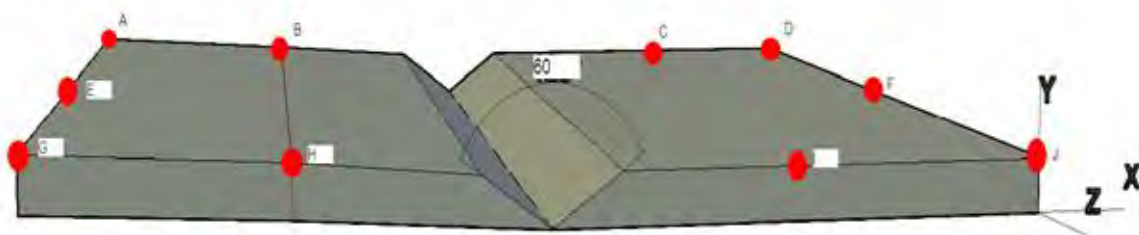
Titik	Data Awal (mm)	Perubahan Distorsi (mm)			
		Root pass	Hot pass 1	Hot pass 2	Capping
A	12	0,35	0,15	0,65	1,44
B	12	0,27	0,28	0,31	0,55
C	12	0,00	0,00	0,00	0,00
D	12	0,00	0,00	0,00	0,00
E	13	0,35	0,15	0,65	1,45
F	12	0,00	0,00	0,00	0,00
G	12	0,35	0,28	0,65	1,45
H	12	0,27	0,28	0,37	0,56
I	12	0,00	0,00	0,00	0,00
J	12	0,00	0,00	0,00	0,00



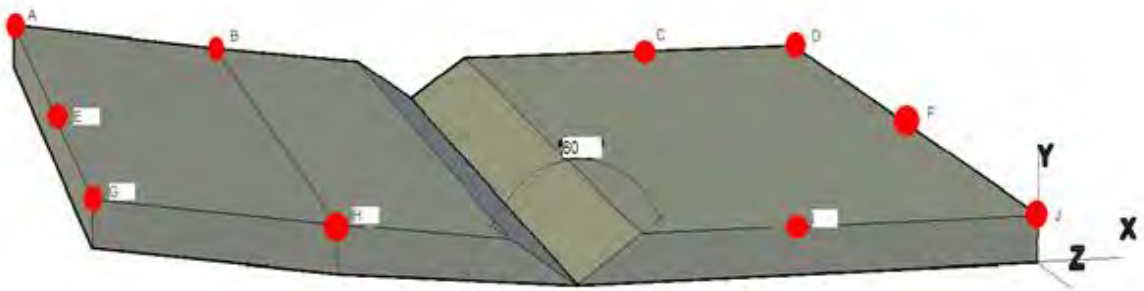
Gambar 4.6 design perubahan distorsi pada layer 1 (*root pas*) untuk 125 A



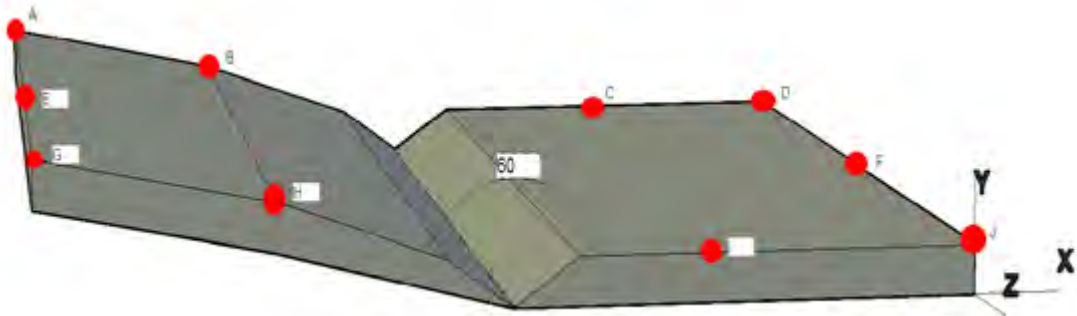
Gambar 4.7 design perubahan distorsi pada layer 2 (*hot pas 1*) untuk 125 A



Gambar 4.8 design perubahan distorsi pada layer 3 (*hot pas 2*) untuk 125 A



Gambar 4.9 design perubahan distorsi pada layer 4 (*capping*) untuk 125 A



Gambar 4.10 design perubahan distorsi total untuk 125 A

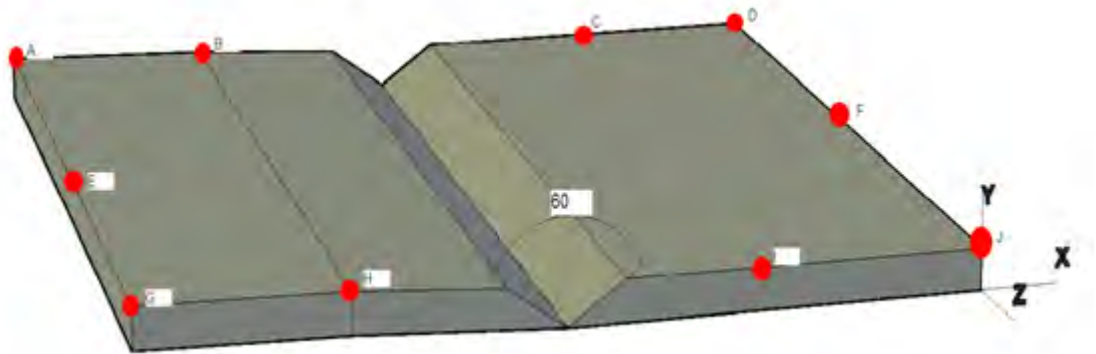
- ❖ Data perubahan distorsi arah *angular* untuk *Heat Input* 150 A pada Tabel 4.4 dan Gambar 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 serta 4.15

Tabel 4.4 Data Hasil Perubahan Distorsi

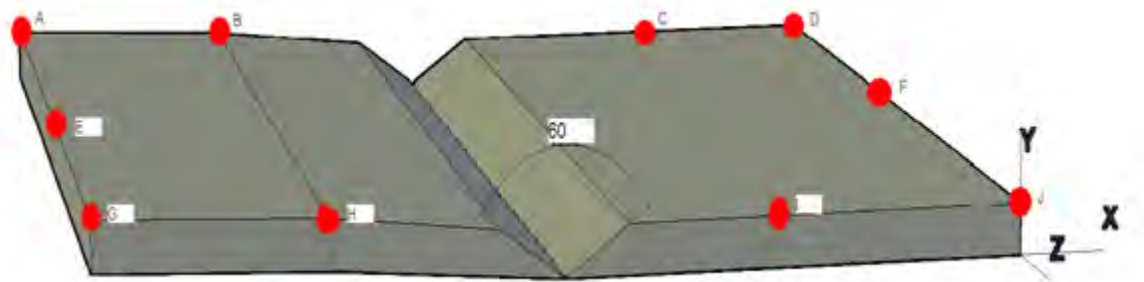
Titik	Data Awal (mm)	Distorsi (mm)			
		Root pass	Hot pass 1	Hot pass 2	Capping
A	12	0,50	0,72	0,55	2,05
B	12	0,30	0,45	0,47	0,23
C	12	0,00	0,00	0,00	0,00
D	12	0,00	0,00	0,00	0,00
E	12	0,50	0,72	0,55	2,05
F	12	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabel 4.4 Data Hasil Perubahan Distorsi (Lanjutan)

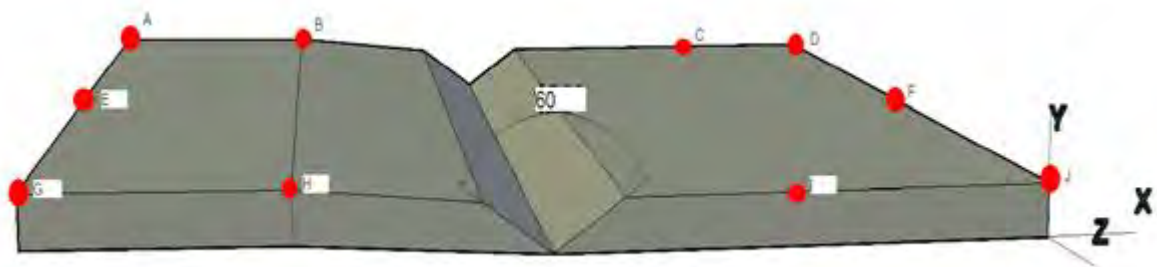
G	12	0,42	0,68	0,45	1,95
H	12	0,30	0,45	0,37	0,28
I	12	0,00	0,00	0,00	0,00
J	12	0,00	0,00	0,00	0,00



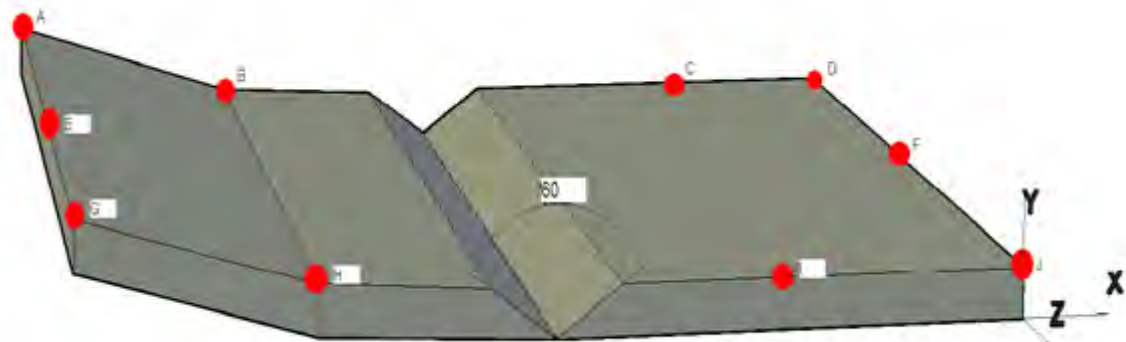
Gambar 4.11 design perubahan distorsi pada layer 1 (*root pas*) untuk 150 A



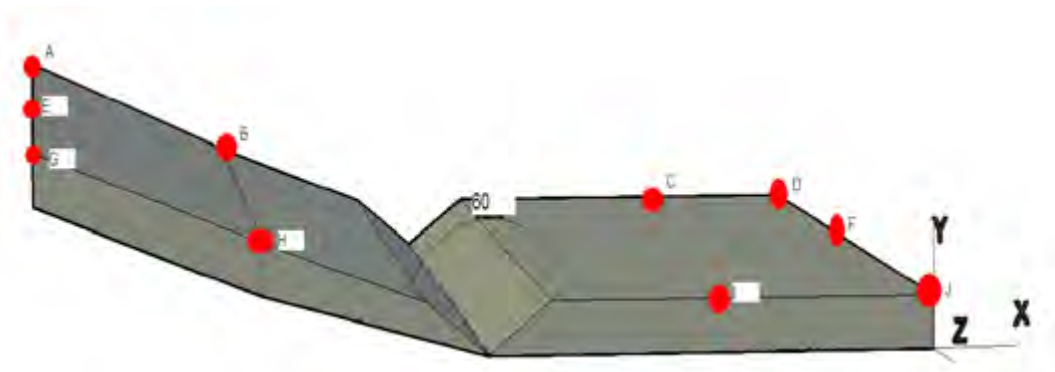
Gambar 4.12 design perubahan distorsi pada layer 2 (*hot pas 1*) untuk 150 A



Gambar 4.13 design perubahan distorsi pada layer 3 (*hot pas 2*) untuk 150 A

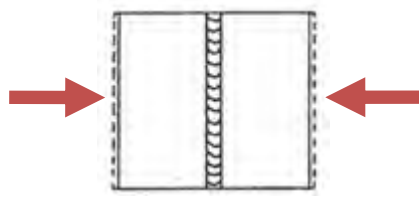


Gambar 4.14 design perubahan distorsi pada layer 4 (*capping*) untuk 150 A



Gambar 4.15 design perubahan distorsi total untuk 150 A

4.3. DATA PENYUSUTAN DISTORSI ARAH TRANSVERSAL



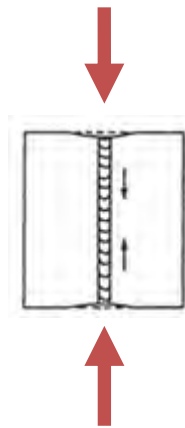
Gambar 4.16 Penyusutan distorsi arah transversal

Untuk ukuran ketebalan setiap layer sama yaitu 3,75 mm dari layer 1 (*root pass*), 2 (*hot pass 1*), 3 (*hot pass 2*) hingga layer 4 (*capping*).

Penyusutan akhir distorsi arah transversal (Gambar 4.16) dari 3 variasi *Heat Input* adalah:

- ✓ 100 A → 2 mm
- ✓ 125 A → 2 mm
- ✓ 150 A → 2 mm

4.4. DATA PENYUSUTAN DISTORSI ARAH LONGITUDINAL



Gambar 4.17 Penyusutan distorsi arah longitudinal

Penyusutan akhir arah longitudinal (Gambar 4.17) dari 3 variasi *Heat Input* adalah:

- ✓ 100 A → 3 mm, penyusutan sudut atas dan bawah lasan sama 1,5 mm, jika di lihat dari atas seperti Gambar 4.17

- ✓ 125 A → 3,5 mm, penyusutan sudut atas 1,5 mm sedangkan sudut bawah 2,0 mm, jika di lihat dari atas seperti Gambar 4.17
- ✓ 150 A → 5 mm, penyusutan sudut atas 2,1 mm sedangkan sudut bawah 2,9 mm, jika di lihat dari atas seperti Gambar 4.17

4.5. PERHITUNGAN *HEAT INPUT*

Kemudian dari data-data di atas dapat dihitung besar masing - masing *Heat Input* untuk setiap layer pada pengelasan.

Tabel 4.5 Perhitungan *Heat Input*

No.	Time (sec)	Travel Speed (mm/sec)	Heat Input (Kj/mm)
1.	59,26	5,063	0,332
	57,32	5,234	0,321
	69,45	4,319	0,389
	71,59	4,19	0,401
2.	62,56	4,796	0,439
	56,87	5,276	0,399
	66,78	4,493	0,467
	71,59	4,19	0,505
3.	63,21	4,747	0,530
	57,65	5,204	0,484
	67,89	4,419	0,570
	70,24	4,272	0,589

4.6. PERBANDINGAN HASIL PENGUKURAN DISTORSI

Hasil penelitian yang saya lakukan, di bandingkan dengan penelitian milik Capel untuk penyusutan arah transversal dan King untuk penyusutan arah longitudinal. Berikut data hasil perbandingannya:

Tabel 4.6 Perbandingan pengukuran distorsi pada 100 A

No.	Jenis Distorsi	Pengukuran	Rumus
1.	Penyusutan Transversal	$\Delta L = 2 \text{ mm}$ dengan $\Delta L = 0,11 \text{ mm}$	$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots(1)$
2.	Penyusutan Longitudinal	$\Delta L = 3 \text{ mm}$ dengan $\Delta L = 0,076 \text{ mm}$	$\Delta L = \frac{20,4 \times W \times 10^3}{s \times u} \dots(2)$

Tabel 4.7 Perbandingan pengukuran distorsi pada 125 A

No.	Jenis Distorsi	Pengukuran	Rumus
1.	Penyusutan Transversal	$\Delta L = 2 \text{ mm}$ dengan $\Delta L = 0,13 \text{ mm}$	$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots(1)$
2.	Penyusutan Longitudinal	$\Delta L = 3,5 \text{ mm}$ dengan $\Delta L = 0,0953 \text{ mm}$	$\Delta L = \frac{20,4 \times W \times 10^3}{s \times u} \dots(2)$

Tabel 4.8 Perbandingan pengukuran distorsi pada 150 A

No.	Jenis Distorsi	Pengukuran	Rumus
1.	Penyusutan Transversal	$\Delta L = 2 \text{ mm}$ dengan $\Delta L = 0,15 \text{ mm}$	$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots(1)$
2.	Penyusutan Longitudinal	$\Delta L = 5 \text{ mm}$ dengan $\Delta L = 0,1143 \text{ mm}$	$\Delta L = \frac{20,4 \times W \times 10^3}{s \times u} \dots(2)$

Referensi

- (1) Rumus yang disarankan Capel (1961)
- (2) Rumus yang disarankan King (1944)

(halaman ini sengaja di kosongkan)

BAB V

PENUTUP

5.1. KESIMPULAN

Bedasarkan hasil analisa dan pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya mengenai pengaruh variasi *Heat input* terhadap perubahan distorsi yang terjadi pada material aluminium 5083, maka dapat disimpulkan :

1. Semakin besar *heat Input* yang diberikan, maka distorsi yang terjadi juga semakin besar. Hal ini ditunjukkan hasil pengukuran distorsi sebagai berikut:
 - ✓ Pada 100 A → penyusutan transversal = 2 mm.
→ penyusutan longitudinal = 3 mm.
 - ✓ Pada 125 A → penyusutan transversal = 2 mm
→ penyusutan longitudinal = 3,5 mm
 - ✓ Pada 150 A → penyusutan transversal = 2 mm
→ penyusutan longitudinal = 5 mm
2. Perubahan *heat input* paling minimum dengan 3 variasi yang sudah di analisa adalah pada 100 Ampere.

5.2. SARAN

Berikut saran yang dianjurkan untuk penelitian selanjutnya:

Untuk pengukuran distorsi lebih dianjurkan menggunakan alat *dial gauge* dari pada menggunakan jangka sorong digital, agar mendapatkan hasil perubahan distorsi yang lebih akurat lagi.

Lampiran A

Perhitungan Perubahan Distorsi

Setiap Titik dan Setiap Layer

⇒ 100 A

1. Pada amperemeter 100 pada titik a

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,38

Jadi $12 + 0 + 0,38 = 12,38$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,38 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,14

Jadi $12,38 + 0 + 0,14 = 12,52$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,52 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,40

Jadi $12,52 + 0 + 0,40 = 12,92$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12,92 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 1,01

Jadi $12,92 + 0 + 1,01 = 13,93$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,38 + 0,14 + 0,40 + 1,01 = 1,93$ mm

2. Pada amperemeter 100 pada titik b

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,27

Jadi $12 + 0 + 0,27 = 12,27$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,27 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,14

Jadi $12,27 + 0 + 0,14 = 12,41$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,41 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,16

Jadi $12,41 + 0 + 0,16 = 12,57$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12,57 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,11

Jadi $12,57 + 0 + 0,11 = 12,68$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,27 + 0,14 + 0,16 + 0,11 = 0,68$ mm

3. Pada amperemeter 100 pada titik c

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 1,3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 1,3 + 0 = 13,3$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 1,3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 1,3 + 0 = 13,3$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 1,3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 1,3 + 0 = 13,3$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 1,3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 1,3 + 0 = 13,3$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

4. Pada amperemeter 100 pada titik d

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 3 + 0 = 15$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 3 + 0 = 15$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 3 + 0 = 15$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 3 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 3 + 0 = 15$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

5. Pada amperemeter 100 pada titik e

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 2 mm

Perubahan distorsi = 0,38

Jadi $12 + 2 + 0,38 = 14,38$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,38 mm

Cekungan pada meja kerja = 2 mm

Perubahan distorsi = 0,12

Jadi $12,38 + 2 + 0,12 = 14,50$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,50 mm

Cekungan pada meja kerja = 2 mm

Perubahan distorsi = 0,40

Jadi $12,50 + 2 + 0,40 = 14,90$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12,90 mm

Cekungan pada meja kerja = 2 mm

Perubahan distorsi = 1,01

Jadi $12,90 + 2 + 1,01 = 15,91$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,38 + 0,12 + 0,40 + 1,01 = 1,58$ mm

6. Pada amperemeter 100 pada titik f

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

7. Pada amperemeter 100 pada titik g

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,57

Jadi $12 + 0 + 0,57 = 12,57$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,57 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,19

Jadi $12,57 + 0 + 0,12 = 12,76$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,76 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,35

Jadi $12,76 + 0 + 0,35 = 13,11$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,11 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,59

Jadi $13,11 + 0 + 0,59 = 15,91$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,57 + 0,19 + 0,35 + 0,59 = 1,7$ mm

8. Pada amperemeter 100 pada titik h

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,38

Jadi $12 + 0 + 0,38 = 12,38$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,38 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,13

Jadi $12,38 + 0 + 0,13 = 12,51$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,51 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,35

Jadi $12,51 + 0 + 0,35 = 12,86$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12,86 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 1,04

Jadi $12,86 + 0 + 1,04 = 13,90$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,38 + 0,13 + 0,35 + 1,04 = 1,9$ mm

9. Pada amperemeter 100 pada titik i

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

10. Pada amperemeter 100 pada titik j

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

⇒ 125 A

1. Pada amperemeter 125 pada titik a

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,35

Jadi $12 + 0 + 0,35 = 12,35$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,35 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,15

Jadi $12,35 + 0 + 0,15 = 12,5$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,5 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,65

Jadi $12,5 + 0 + 0,65 = 13,15$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,15 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 1,44

Jadi $13,15 + 0 + 1,44 = 14,59$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,35 + 0,15 + 0,65 + 1,44 = 2,59$ mm

2. Pada amperemeter 125 pada titik b

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,27

Jadi $12 + 0 + 0,27 = 12,27$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,27 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,28

Jadi $12,27 + 0 + 0,27 = 12,55$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,55 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,31

Jadi $12,55 + 0 + 0,31 = 12,86$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12,86 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,55

Jadi $12,86 + 0 + 0,55 = 13,41$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,27 + 0,28 + 0,31 + 0,55 = 1,41$ mm

3. Pada amperemeter 125 pada titik c

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

4. Pada amperemeter 125 pada titik d

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

5. Pada amperemeter 125 pada titik e

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 1 mm

Perubahan distorsi = 0,35

Jadi $12 + 1 + 0,35 = 13,35$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,35 mm

Cekungan pada meja kerja = 1 mm

Perubahan distorsi = 0,15

Jadi $12,35 + 1 + 0,15 = 13,5$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,5 mm

Cekungan pada meja kerja = 1 mm

Perubahan distorsi = 0,65

Jadi $12,5 + 1 + 0,65 = 14,15$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,15 mm

Cekungan pada meja kerja = 1 mm

Perubahan distorsi = 1,45

Jadi $13,15 + 1 + 1,45 = 15,6$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,35 + 0,15 + 0,65 + 1,45 = 2,6$ mm

6. Pada amperemeter 125 pada titik f

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

7. Pada amperemeter 125 pada titik g

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,35

Jadi $12 + 0 + 0,35 = 12,35$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,35 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,15

Jadi $12,35 + 0 + 0,15 = 12,5$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,5 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,65

Jadi $12,5 + 0 + 0,65 = 13,15$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,15 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 1,45

Jadi $13,15 + 0 + 1,45 = 14,6$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,35 + 0,15 + 0,65 + 1,45 = 2,6$ mm

8. Pada amperemeter 125 pada titik h

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,27

Jadi $12 + 0 + 0,27 = 12,27$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,27 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,28

Jadi $12,27 + 0 + 0,28 = 12,55$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,55 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,37

Jadi $12,55 + 0 + 0,37 = 12,86$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12,86 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,56

Jadi $12,86 + 0 + 0,56 = 13,42$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,27 + 0,28 + 0,37 + 0,56 = 1,48$ mm

9. Pada amperemeter 125 pada titik i

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

10. Pada amperemeter 125 pada titik j

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

⇒ 150 A

1. Pada amperemeter 150 pada titik a

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,50

Jadi $12 + 0 + 0,50 = 12,50$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,50 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,72

Jadi $12,50 + 0 + 0,72 = 13,22$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 13,22 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,55

Jadi $13,22 + 0 + 0,55 = 13,77$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,77 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 2,05

Jadi $13,77 + 0 + 2,05 = 15,82$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,50 + 0,72 + 0,55 + 2,05 = 3,82$ mm

2. Pada amperemeter 150 pada titik a

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,30

Jadi $12 + 0 + 0,30 = 12,30$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,30 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,45

Jadi $12,30 + 0 + 0,45 = 12,75$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,75 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,47

Jadi $12,75 + 0 + 0,47 = 13,22$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,22 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,23

Jadi $13,22 + 0 + 0,23 = 13,45$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,30 + 0,45 + 0,47 + 0,23 = 1,45$ mm

3. Pada amperemeter 150 pada titik c

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

4. Pada amperemeter 150 pada titik d

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

5. Pada amperemeter 150 pada titik e

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,50

Jadi $12 + 0 + 0,50 = 12,50$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,50 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,72

Jadi $12,50 + 0 + 0,72 = 13,22$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 13,22 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,55

Jadi $13,22 + 0 + 0,55 = 13,77$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,77 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 2,05

Jadi $13,77 + 0 + 2,05 = 15,82$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,50 + 0,72 + 0,55 + 2,05 = 3,82$ mm

6. Pada amperemeter 150 pada titik f

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

7. Pada amperemeter 150 pada titik g

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,42

Jadi $12 + 0 + 0,42 = 12,42$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,42 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,68

Jadi $12,42 + 0 + 0,68 = 13,1$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 13,1 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,45

Jadi $13,1 + 0 + 0,45 = 13,55$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,55 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 1,95

Jadi $13,55 + 0 + 1,95 = 15,5$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,42 + 0,68 + 0,45 + 1,95 = 3,5$ mm

8. Pada amperemeter 150 pada titik e

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,30

Jadi $12 + 0 + 0,30 = 12,30$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12,30 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,45

Jadi $12,30 + 0 + 0,45 = 12,75$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12,75 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,37

Jadi $13,75 + 0 + 0,37 = 13,12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 13,12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0,28

Jadi $13,12 + 0 + 0,28 = 13,40$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = layer 1 + layer 2 + layer 3 + layer 4 =

$= 0,30 + 0,45 + 0,37 + 0,28 = 1,4$ mm

9. Pada amperemeter 150 pada titik i

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

10. Pada amperemeter 150 pada titik j

➤ Untuk layer 1 (*root pass*)

Data awal :

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 2 (*hot pass 1*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 3 (*hot pass 2*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

➤ Untuk layer 4 (*capping*)

Data awal:

Tebal plat = 12 mm

Cekungan pada meja kerja = 0 mm

Perubahan distorsi = 0

Jadi $12 + 0 + 0 = 12$ mm

→ Perubahan total dan data akhir

Perubahan Distorsi = tidak ada perubahan distorsi

Lampiran B

Perhitungan *Heat Input*

a. Perhitungan *Heat Input* untuk amperemeter 100

➤ Untuk layer ke 1 (*root pass*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 100 \text{ A}$$

$$v = 59,26 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{59,26 \text{ sec}} = 5,063 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 100}{5,063}$$

$$= 0,8 \times 414,78$$

$$= 331,824 \text{ J/mm}$$

$$= 0,33182 \text{ Kj/mm}$$

➤ Untuk layer ke 2 (*hot pass I*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 100 \text{ A}$$

$$v = 57,32 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{57,32 \text{ sec}} = 5,234 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 100}{5,234}$$

$$= 0,8 \times 401,23$$

$$= 320,984 \text{ J/mm}$$

$$= 0,32098 \text{ Kj/mm}$$

- Untuk layer ke 3 (*hot pass 2*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 100 \text{ A}$$

$$v = 69,45 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{69,45 \text{ sec}} = 4,319 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 100}{4,319}$$

$$= 0,8 \times 486,23$$

$$= 388,984 \text{ J/mm}$$

$$= 0,38898 \text{ Kj/mm}$$

- Untuk layer ke 4 (*capping*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 100 \text{ A}$$

$$v = 71,59 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{71,59 \text{ sec}} = 4,19 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 100}{4,19}$$

$$= 0,8 \times 501,19$$

$$= 400,952 \text{ J/mm}$$

$$= 0,40095 \text{ Kj/mm}$$

Perhitungan *Heat Input* untuk amperemeter 125

➤ Untuk layer ke 1 (*root pass*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 125 \text{ A}$$

$$v = 62,56 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{62,56 \text{ sec}} = 4,796 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots\dots(1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 125}{4,796}$$

$$= 0,8 \times 547,79$$

$$= 438,232 \text{ J/mm}$$

$$= 0,43823 \text{ Kj/mm}$$

➤ Untuk layer ke 2 (*hot pass I*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 125 \text{ A}$$

$$v = 56,87 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{56,87 \text{ sec}} = 5,276 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots\dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 125}{5,276}$$

$$= 0,8 \times 497,54$$

$$= 398,032 \text{ J/mm}$$

$$= 0,39803 \text{ Kj/mm}$$

- Untuk layer ke 3 (*hot pass 2*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 125 \text{ A}$$

$$v = 66,78 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{66,78 \text{ sec}} = 4,493 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 125}{4,493}$$

$$= 0,8 \times 584,25$$

$$= 467,4 \text{ J/mm}$$

$$= 0,4674 \text{ Kj/mm}$$

- Untuk layer ke 4 (*capping*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 125 \text{ A}$$

$$v = 72,1 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{72,1 \text{ sec}} = 4,161 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 125}{4,161}$$

$$= 0,8 \times 630,86$$

$$= 504,688 \text{ J/mm}$$

$$= 0,50469 \text{ Kj/mm}$$

Perhitungan *Heat Input* untuk amperemeter 150

➤ Untuk layer ke 1 (*root pass*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 150 \text{ A}$$

$$v = 63,21 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{63,21 \text{ sec}} = 4,747 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 150}{4,747}$$

$$= 0,8 \times 663,58$$

$$= 430,864 \text{ J/mm}$$

$$= 0,53086 \text{ Kj/mm}$$

➤ Untuk layer ke 2 (*hot pass I*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 150 \text{ A}$$

$$v = 57,65 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{57,65 \text{ sec}} = 5,204 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 150}{5,204}$$

$$= 0,8 \times 605,31$$

$$= 484,248 \text{ J/mm}$$

$$= 0,48424 \text{ Kj/mm}$$

- Untuk layer ke 3 (*hot pass 2*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 150 \text{ A}$$

$$v = 67,89 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{67,89 \text{ sec}} = 4,419 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 150}{4,419}$$

$$= 0,8 \times 712,84$$

$$= 570,272 \text{ J/mm}$$

$$= 0,57027 \text{ Kj/mm}$$

- Untuk layer ke 4 (*capping*)

$$V = 21 \text{ volt}$$

$$I = 150 \text{ A}$$

$$v = 70,24 \text{ sec}$$

$$= \frac{300 \text{ mm}}{70,24 \text{ sec}} = 4,272 \text{ mm/sec}$$

$$Q_1 = 80\% \frac{V \cdot I}{v} \dots (1)$$

$$= \frac{80}{100} \frac{21 \times 150}{4,272}$$

$$= 0,8 \times 737,36$$

$$= 589,888 \text{ J/mm}$$

$$= 0,58988 \text{ Kj/mm}$$

Lampiran C

Perhitungan Perubahan Transversal
dan Longitudinal

➤ Penyusutan transverse menggunakan rumus Capel

100 A

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{20,4 \times W \times 10^{-3}}{s \times u} \dots (2) \\&= \frac{20,4 \times (I \times V) \times 10^{-3}}{15 \text{ mm} \times 4,71 \text{ mm/sec}} \\&= \frac{20,4 \times 2100 \times 10^{-3}}{15 \text{ mm} \times 28,26 \text{ cm/min}} \\&= \frac{20,4 \times 2,1}{423,9} \\&= \frac{42,84}{423,9}\end{aligned}$$

$$\Delta L = 0,11 \text{ mm}$$

125 A

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{20,4 \times W \times 10^{-3}}{s \times u} \dots (2) \\&= \frac{20,4 \times (I \times V) \times 10^{-3}}{15 \text{ mm} \times 4,69 \text{ mm/sec}} \\&= \frac{20,4 \times 2625 \times 10^{-3}}{15 \text{ mm} \times 28,14 \text{ cm/min}} \\&= \frac{20,4 \times 2,625}{422,1} \\&= \frac{53,55}{422,1}\end{aligned}$$

$$\Delta L = 0,13 \text{ mm}$$

150 A

$$\begin{aligned}\Delta L &= \frac{20,4 \times W \times 10^{-3}}{s \times u} \dots (2) \\&= \frac{20,4 \times (I \times V) \times 10^{-3}}{15 \text{ mm} \times 4,67 \text{ mm/sec}}\end{aligned}$$

$$= \frac{20,4 \times 3150 \times 10^{-3}}{15 \text{ mm} \times 28,02 \text{ cm/min}}$$

$$= \frac{20,4 \times 3,15}{420,3}$$

$$= \frac{64,26}{420,3}$$

$$\Delta L = 0,15 \text{ mm}$$

➤ Penyusutan Longitudinal menggunakan rumus King

100 A

$$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots (3)$$

$$= \frac{0,12 \times 100 \times 11,8}{100,000 \times 0,472}$$

$$= \frac{141,6}{47200}$$

$$= 0,003 \text{ in}$$

$$\Delta L = 0,0762 \text{ mm}$$

125 A

$$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots (3)$$

$$= \frac{0,12 \times 125 \times 11,8}{100,000 \times 0,472}$$

$$= \frac{177}{47200}$$

$$= 0,00375 \text{ in}$$

$$\Delta L = 0,0953 \text{ mm}$$

150 A

$$\Delta L = \frac{0,12 \times I \times L}{100,000 \times t} \dots\dots (3)$$

$$= \frac{0,12 \times 150 \times 11,8}{100,000 \times 0,472}$$

$$= \frac{212,4}{47200}$$

$$= 0,0045 \text{ in}$$

$$\Delta L = 0,1143 \text{ mm}$$

DAFTAR PUSTAKA

- Gery, D., Long, H., Maropoulos, P. 2005. "Effects of welding speed, energy input and heat source distribution on temperature variations in butt joint welding". **Journal of Materials Processing Technology**. 167 : 393–401
- Genculu, Semih. 2007. **Structural Steel Welding**. Dakota : PDH Center.
- ASME section IX. 2001. "**Qualification Standard For Welding And Brazing Procedures, Welders, Brazers, And Welding And Brazing Operators**". New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- Sonawan, Hery, Suratman R. 2003. "**Pengelasan Logam**". Bandung
- ASME section II. 2001. "**Materials**". New York : The American Society of Mechanical Engineers New York.
- Anam, Muhammad Saiful. 2009. "**Analisa Perilaku Tegangan Sisa Dan Sudut Distorsi Pada Sambungan Fillet Dengan Variasi Tebal Pelat Menggunakan Metode Elemen Hingga**". Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Bradley, GR., James, MN. 2000. "**Geometry and Microstructure of Metal Inert Gas and Friction Stir Welded Aluminium Alloy**". 5383-H321".
- Long, H., Gery, D., Carlier, A., Maropoulos, P.G. 2009. "Prediction of welding distortion in butt joint of thin plates". **Materials and Design 30 (2009) 4126–4135**
- Katsas, S., Nikolaou, J., Papadimitriou, G. 2005. "Microstructural changes accompanying repair welding in 5xxx aluminium alloys and their effect on the mechanical properties". **Materials and Design 27 (2006) 968–975**

Okumura T, Wiryosumarto H. 1994. **“Teknologi Pengelasan Logam=Welding Engineering”**. Jakarta : Pradnya Paramita.

Capel, L. 1961. "Aluminum welding practice", *British Welding Journal*, 8 (5), (1961) 245-248 (1961).

King, C.W. R. 1944. *Transactions of the Institute of Engineers and Shipbuilders in Scotland*, 87,238-255 (1944).

BIODATA PENULIS



M. Detta Rizky Safrisal lahir di Gresik, 16 Agustus 1992 sebagai anak pertama dari pasangan Sartono dan Muzdalifah. Setelah menempuh pendidikan di MI Islamiyah Sidoarjo, SMP Negeri 2 Taman Sidoarjo, dan SMA Kemala Bhayangkari 1 Surabaya, penulis melanjutkan studinya di Program Studi S1 Jurusan Teknik Kelautan FTK-ITS pada tahun 2009 melalui jalur Kemitraan dan Mandiri (PKM). Dalam mengaplikasikan ilmu yang telah diperoleh, penulis melaksanakan kerja praktek di PT. ALSTOM Surabaya periode 21 Juli 2014 sampai 20 September 2014. Bidang yang dipilih penulis untuk tugas akhirnya adalah bidang Produksi pada pengelasan plat alumunium.